



Auslegeexemplar der Diplomarbeit von

Verfasser 1:

Verfasser 2:

Sikora, Christian

Tuac, Servet

Studiengang:

vorgelegt am:

Maschinenbau PStO 2001

22.02.2012

Erstprüfer:

Zweitprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Victor Gheorghiu

Dipl. Ing. Siegfried Prust

Thema:

Aufbau und Inbetriebnahme eines Verbrennungsmotorprüfstandes
in eine compatible Motor-Box.

Inhaltsverzeichnis

Prüfungsexemplar der Diplomarbeit von	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VIII
Formelzeichen und Indizes.....	IX
Quellenverzeichnis.....	XI
Danksagung.....	XII
1 Einleitung	1
2 Aufgabenstellung	2
3 Grundlagen	4
3.1 Verbrennungsmotor (Prüfobjekt)	4
3.2 Kühlung eines Kraftfahrzeugs.....	10
3.3 Abgassystem eines Kraftfahrzeugs	12
3.4 Wirbelstrombremse.....	15
4 3D-Modellierung.....	17
4.1 Motor-Box im Ausgangszustand	18
4.2 Prüfstandskomponenten.....	19
4.2.1 Prüfmotor mit Gestell.....	19
4.2.2 Wirbelstrombremse W70 mit Gestell	20
4.2.3 Plattenwärmetauscher	20
4.2.4 Rohrbündelwärmetauscher.....	21
4.2.5 Kardanwelle	22
4.2.6 Kraftstoffwaage.....	22
4.3 Unterkonstruktion.....	23
4.3.1 U-Profile.....	23
4.3.2 Befestigungselemente	24
4.3.3 Unterkonstruktion und Motorbox im Zusammenbau	24

Inhaltsverzeichnis

4.4	Prüfstand und Motorbox im Zusammenbau	25
5	Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand	26
5.1	Montage der Prüfstandkomponenten auf der Plattform	28
5.2	Verlegung der starren und flexiblen Rohrleitungen.....	38
5.3	Installation der Abgasanlage	50
6	Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen	51
6.1	Funktionsdiagramm	52
6.2	Messeinrichtungen.....	54
6.2.1	Temperaturmessungen.....	54
6.2.2	Volumenstrommessung	57
6.2.3	Drehmomentmessung	59
6.2.4	Kraftstoffverbrauchsmessung	61
6.2.5	Luftmassenmessung.....	66
6.2.6	Lambdasonde	68
6.2.7	Messstellen in der Übersicht.....	70
6.3	Steuer- und Regeleinrichtung	72
6.3.1	X-Act Steuergerät	72
6.3.2	Fahrhebelstelleinrichtung LSR 1000/ LSR 250.....	76
6.3.3	Hubantriebe für Hubventile	79
6.4	Schaltschrank	82
6.5	Verkabelungsplan	83
7	Inbetriebnahme	85
8	Aufnahme der Messwert und Auswertung	88
8.1	Bestimmung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses „ λ “	88
8.1.1	Lambdabestimmung aus den Abgaswerten.....	90
8.1.2	Lambdabestimmung aus mL , tats , mB und LSt	90
8.1.3	Beispiel: Berechnung des Lambdawertes.....	91
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	93

10	Anhang	94
-----------	---------------------	-----------

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1	Prozessschritte eines Kolbenmotors	4
Abbildung 3.2	Hub- und Kompressionsvolumen([1], S.16)	5
Abbildung 3.3	Im Fahrzeug eingebauter Opel Ecotec Motor	7
Abbildung 3.4	Kühlmodul ([1], S. 793	11
Abbildung 3.5:	Abgassysteme	12
Abbildung 3.6:	Schallreduktion	13
Abbildung 3.7:	Katalysator.....	14
Abbildung 3.8	Aufbau der wassergekühlten Leistungsbremse	15
Abbildung 4.1:	Motor-Box im Ausgangszustand als 3D-Modell	18
Abbildung 4.2:	Motor mit Gestell als 3D-Modell.....	19
Abbildung 4.3:	Wirbelstrombremse mit Gestell als 3D-Modell.....	20
Abbildung 4.4:	Plattenwärmetauscher als 3D-Modell	21
Abbildung 4.5:	Rohrbündelwärmetauscher als 3D-Modell.....	21
Abbildung 4.6:	Kardanwelle als 3D-Modell	22
Abbildung 4.7:	Kraftstoffwaage als 3D-Modell.....	22
Abbildung 4.8:	U-Profil als 3D-Modell.....	23
Abbildung 4.9:	M16-Schraube mit Distanzhülse als 3D-Modell	24
Abbildung 4.10:	Unterkonstruktion und Motorbox im Zusammenbau als 3D-Modell	24
Abbildung 4.11:	Prüfstand und Motorbox im Zusammenbau als 3D-Modell.....	25
Abbildung 5.1	Ausgangszustand der Motor Box.....	27
Abbildung 5.2	Verbrennungsmotorprüfstand(vorläufige Abb.)	27
Abbildung 5.3	3D-Modell der Motor-Box	28
Abbildung 5.4	Durchbiegen eines beidseitig fest eingespannten Balkens mit mittiger Belastung „F“	30
Abbildung 5.5	U-Profil als 3d-Modell	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5.6	Schraubverbindung der U-Profile mit der Plattform	32
Abbildung 5.7	Kettenzug	33
Abbildung 5.8	Verzahnung, Kreuzgelenk und Flansch der Kardanwelle	33
Abbildung 5.9	Eingebaute Kardanwelle.....	34
Abbildung 5.10	Plattenwärmetauscher mit Unterkonstruktion	35
Abbildung 5.11	Abmaße des Plattenwärmetauschers.....	35
Abbildung 5.12	Rohrbündelwärmetauscher.....	37
Abbildung 5.13	Verbrennungsmotorprüfstand mit Kühlkreisläufen.....	38
Abbildung 5.14	Kugelhahnventil	39
Abbildung 5.15	LORO–X Stahlabflussrohr und Dichtelement	40
Abbildung 5.16	Kühlkreislauf der Wirbelstrombremse	41
Abbildung 5.17	Datenschild Wirbelstrombremse	42
Abbildung 5.18	Zulauf und Ablauf Wirbelstrombremse	43
Abbildung 5.19	Abzweigung Wasserzulauf	44
Abbildung 5.20	Schnittstelle	44
Abbildung 5.21	Schlauchnippel	45
Abbildung 5.22	Schlauchnippel am Rohrbündelwärmetauscher	45
Abbildung 5.23	Kühlkreisläufe des Plattenwärmetauschers.....	46
Abbildung 5.24	Umwälzpumpe und Volumenstrommesser	47
Abbildung 5.25	Kühlkreisläufe des Rohrbündelwärmetauschers.....	48
Abbildung 5.26	Ölentnahme, Ölschläuche mit Nippelverbindungen und gelötete Kupferrohre	49
Abbildung 5.27:	Aufbau des Abgassystems ohne Messsensoren	50
Abbildung 6.1:	Pt100 Temperaturfühler am Plattenwärmetauscher	55
Abbildung 6.2:	Thermoelement vom Typ K am Katalysator	56
Abbildung 6.3:	Panelmeter Anzeigen im Schaltschrank	56
Abbildung 6.4:	Volumenstrommessgerät Motorkühlflüssigkeitskreislauf	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 6.5: Turbinen-Durchflussmesser ([12])	58
Abbildung 6.6: Volumenstromanzeige Unicontrol	59
Abbildung 6.7: DMS-Prinzip ([13])	60
Abbildung 6.8: Messanzeige Drehmoment.....	60
Abbildung 6.9: Anschlussplan der AVL733s Kraftstoffwaage	61
Abbildung 6.10: Kapazitives Messprinzip ([14]).....	62
Abbildung 6.11: Programmoberfläche AVL 733S	63
Abbildung 6.12: Lade-Meldung.....	64
Abbildung 6.13: Hauptfenster AVL 733S.....	65
Abbildung 6.14: Luftmassenmesser im Opel Ecotec Prüfstand.....	66
Abbildung 6.15: Messprinzip Luftmassenmesser ([15]).....	67
Abbildung 6.16: Messprinzip Lambdasonde ([16])	68
Abbildung 6.17: Messstellen in der Übersicht 1/2.....	70
Abbildung 6.18: Messstellen in der Übersicht 2/2.....	71
Abbildung 6.19: X-Act Steuergerät ([17]).....	72
Abbildung 6.20: Leistungsteil LFE 1000 ([17]).....	76
Abbildung 6.21: Bedienteil LFB 1000 ([17])	77
Abbildung 6.22: Stellglied LFM 250.....	78
Abbildung 6.23: Belimo Hubantriebe ([18]).....	79
Abbildung 6.24: Anschlussschema Belimo Hubantriebe ([18])	80
Abbildung 6.25: Verteilerkasten Belimo Hubantriebe	80
Abbildung 6.26: Verkabelungsplan.....	83
Abbildung 8.1: Lambdawert-Berechnung mit der Brettschneiderformel	89

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1 Technische Daten des Verbrennungsmotor	8
Tabelle 5.1 Technische Daten des Plattenwärmetauschers (aus [8]).....	36
Tabelle 5.2 Technische Daten der Wirbelstrombremse.....	42
Tabelle 5.3 Betriebsstufen der Umwälzpumpe	47
Tabelle 6.1: Dialogrechte [17].....	74
Tabelle 8.1: Messwerte zur Lambdabestimmung	91

Formelzeichen und Indizes

Formelzeichen	Beschreibung	Einheit
ε	Verdichtungsverhältnis	[-]
$V_{\min}$	min. Zylindervolumen	[cm ³]
$V_{\max}$	max. Zylindervolumen	[cm ³]
E_K	Kraftstoffenergie	[J]
$\dot{m}_K$	Kraftstoffmassenstrom	[Hz]
H_U	Unterer Heizwert	[kJ/kg]
η_i	Innerer Wirkungsgrad	[-]
η_e	effektiver Wirkungsgrad	[-]
η_m	mechanischer Wirkungsgrad	[-]
P_i	innere Motorleistung	[W]
P_e	effektive Motorleistung	[W]
f	Durchbiegen	[mm]
E	Elastizitätsmodul	[N/mm ²]
I_y	Flächenträgheitsmoment	[mm ⁴]
F	Einzellast	[N]
l	Balkenlänge	[mm]
g	Gravitationsbeschleunigung	[m/s ²]
d_i	Innendurchmesser der Distanzbuchse	[mm]
d_a	Außendurchmesser der Distanzbuchse	[mm]
A_p	Anpressfläche	[mm ²]
h_D	Höhe der Distanzbuchse	[mm]
$\dot{m}_{L,tats}$	tatsächlicher Luftmassenstrom	[kg/h]

Formelzeichen und Indizes

$\dot{m}_B$	Kraftstoffverbrauch	[gk/h]
$m_{L,St}$	stöchiometrische Luftmasse	[kg]
L_{St}	stöchiometrischer Luftbedarf	[-]
T_{vK}	Temperatur vor dem Katalysator	[°C]
T_{nK}	Temperatur nach dem Katalysator	[°C]
T_{ZK}	Temperatur am Kühlflüssigkeit-Zulauf	[°C]
T_{AK}	Temperatur am Kühlflüssigkeit-Ablauf	[°C]
$T_{ZÖ}$	Temperatur am Öl-Zulauf	[°C]
$T_{AÖ}$	Temperatur am Öl-Ablauf	[°C]
X_{O_2}	Sauerstoffgehalt im Abgas	[-]
X_{CO_2}	Kohlenstoffdioxidgehalt im Abgas	[-]
$X_{CO_{2max}}$	max. Kohlenstoffdioxidgehalt im Abgas	[-]

Quellenverzeichnis

- [1] Richard van Basshuysen, F. S. (2012, 6. Auflage). *Handbuch Verbrennungsmotor*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- [2] Carl Schenk AG; <http://www.schenck.net/de/>
- [3] Bröcker, T. (2002). *Entwicklung eines modularen Motorprüfstand-Konzept und Aufbau eines Musterprüfstandes inklusive der Einrichtung von Mess- und Kontrollinstrumenten* bei Prof. Dr.-Ing. Victor Gheorghiu
- [4] <http://www.mein-autolexikon.de/abgassystem/abgasanlage.html>
- [5] <http://www.mein-autolexikon.de/abgassystem/katalysator.html>
- [6] <http://www.mein-autolexikon.de/abgassystem/lambdasonde.html>
- [7] http://www.technicalmaterials.umicore.com/de/bt/brazingCenter/show_de_V_03_Loetverfahren.pdf
- [8] <http://doc.texnikoi.gr/ylikadata/rfts/laval3.pdf>
- [9] <http://www.fuehlersysteme.de/Lexikon/Pt100>
- [10] <http://www.sprut.de/electronic/temeratur/temp.htm#thermoelement>
- [11] <http://www.sensorsmag.com/sensors/flow/turbine-flowmeters-part-1-details-basic-axial-turbine-flowme-843>
- [12] <http://www.intercontrol-msr.ch/media/images/products/Turbineopen.jpg>
- [13] http://www.kistler.com/mediaaccess/Technology_StrainGage_L_de.gif
- [14] <https://www.avl.com/fuel-balance-and-fuel-temperature-control>
- [15] http://www.t4-wiki.de/wiki/images/thumb/Motor_Geber_LMM_G70_Aufbau_bis_1997.jpg/350px-Motor_Geber_LMM_G70_Aufbau_bis_1997.jpg
- [16] <http://www.lambdasonde.de/typo3temp/pics/0abc8f2407.jpg>
- [17] Bedienungsanleitung Schenk Wirbelstrombremse
- [18] Bedienungsanleitung Belimo Hubantriebe für Hubventile

Danksagung

Sowohl bei der Entstehung als auch bei der Durchführung dieser Arbeit wurden verschiedene Hilfestellungen und Dienste in Anspruch genommen. Dabei geht ein herzlicher Dank an Herrn Prof. Dr.-Ing. Victor Gheorghiu.

Ohne den tatkräftigen Beistand, die Anregungen und Unterstützung von Herrn Dipl. Ing. Siegfried Prust wäre die Arbeit schwer durchführbar. Für diese Begleitung möchten wir uns besonders bei ihm bedanken.

Bei der Zusammenstellung standen uns die Herren Dipl. Ing. Jurijs Tjunikovs und Dipl.-Ing. Jens Brodersen immer hilfreich zur Verfügung. Dafür gilt Ihnen ein herzlicher Dank.

Für die Bereitstellung von Materialien und die Verrichtung von Fertigungsarbeiten geht auch ein Dank an den Leiter und die Mitarbeiter der zentralen Laborwerkstatt der HAW-Hamburg.

1 Einleitung

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Dokumentation der Konstruktion, des Aufbaus sowie die Inbetriebnahme eines Prüfstandes. Bei dem Prüfobjekt handelt es sich um einen Otto-Verbrennungsmotor, und zwar um den Opel Ecotec 3 Zylinder Motor mit einem Liter Hubraum. Mithilfe dieses Prüfstandes soll die Motorfunktion unter verschiedenen Betriebsbedingungen untersucht werden.

Vor über 100 Jahren hat Nicolaus August Otto den Ottomotor patentieren lassen. Seit diesem Zeitpunkt kam es zu zahlreichen Entwicklungen und Verbesserungen dieses Verbrennungsmotors. Auch heute gehören der Fortschritt sowie die Optimierung dieser Motoren zu Aufgaben im Ingenieurwesen, die mitunter aufgrund von Prüfständen entstehen.

Der Prüfstand befindet sich in der Maschinenhalle der HAW-Hamburg und dient in erster Linie zu Lehrzwecken für die Studenten.

Diese Ausarbeitung ist in Gruppenarbeit entstanden. Dabei kam es zur Unterteilung der verschiedenen praktischen Aufgabenstellungen sowie der schriftlichen Inhalte. Die Kapitel 3, 5 und 8 wurden von dem Herrn Christian Sikora erstellt und die Kapitel 4, 6 und 7 von dem Herrn Servet Tuac. Dementsprechend wurden die praktischen Arbeiten eingeteilt.

2 Aufgabenstellung

Die Diplomarbeit befasst sich mit einem Opel Ecotec 3 Zylinder 1.0l Motorprüfstand, der in die Motor-Box 2 installiert werden soll.

Die Hauptaufgabe der Arbeit ist, den alten Motorprüfstand mit allen notwendigen Anschlüssen in die neue Motor-Box einzubauen, in Betrieb zu nehmen und zu testen.

Bei der Durchführung der Arbeit werden folgende Punkte bearbeitet:

- Konstruktion und Fertigung der Unterkonstruktion zur Anbringung des Motors und der Wirbelstrombremse in die Motor-Box (U-Profil bestellen und in der Werkstatt bearbeiten lassen).
- Konstruktion und Fertigung einer Montagevorrichtung für die Befestigung des Öl-Kühlwasser Wärmetauschers an der Prüfstandplattform und die dazugehörigen Leitungen zum Motor verlegen.
- Montage des Motors und der Wirbelstrombremse in die Motor-Box.
- Für die Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand müssen starre Rohrleitungen installiert werden, die zu den einzelnen Komponenten des Prüfstandes reichen. Der Prüfstand wird anschließend mit flexiblen Leitungen mit der Motor-Box verbunden. Als Erstes muss eine Liste erstellt werden, in der alle benötigten Bauteile aufgezählt sind, die für die Anpassung benötigt werden.
 - Installation einer Rohrleitung für den Wasserzulauf der Wirbelstrombremse mit einem mechanischen Ventil und Halterungen.
 - Installation einer Rohrleitung (Marke: LORO-X) für den Wasserablauf der Wirbelstrombremse mit Halterung.
 - Installation einer Kraftstoffleitung für die Kraftstoffzufuhr mit Halterungen.
 - Installation der Abgasanlage bis zur Absaughaube mit Halterungen.
 - Lösungsfindung für die Luftzufuhr am Motor.
 - Verlegung der elektrischen Leitungen, die an den Schaltschrank anzuschließen sind.
- Freischneiden der Gitterroste für die Freimachung der Rohrleitungen.

Aufgabenstellung

- Überblick über die elektrischen Anschlüsse am Prüfstand gewinnen und mit dem Schaltschrank verbinden.
- Kalibrierung der Messeinrichtung und Konfiguration.
- Inbetriebnahme des Prüfstandes.
- Erstellung einer Versuchsdurchführung
- Aufnahme der Messdaten und Auswertung

3 Grundlagen

Das folgende Kapitel enthält allgemeine Information über Kraftfahrzeuge. Des Weiteren wird die Wirbelstrombremse vorgestellt. Um ein Grundverständnis zu vermitteln.

3.1 Verbrennungsmotor (Prüfobjekt)

Bei dem im Prüfstand verwendeten Verbrennungsmotor handelt es sich um eine Hubkolbenmaschine. Kolbenmaschinen werden in Arbeitsmaschinen und Kraftmaschinen unterschieden. Die Arbeitsmaschine überträgt Energie vom Kolben auf das Fluid und bei der Kraftmaschine wird die Energie eines Fluides oder Gases auf einen beweglichen Verdränger übertragen. Verbrennungsmotoren stellen eine Wärmekraftmaschine dar, bei der durch die Verbrennung eines zündfähigen Luft-Kraftstoff-Gemisches chemische Energie freigesetzt und in mechanische Energie umgesetzt wird. Dabei treten im Zylinderinneren kurzzeitig Spitzentemperaturen über 2000°C auf. Jedoch führen Ladungswechsel, Expansionsvorgänge, etc. zwischen den Zündungen zu geringeren Mitteltemperaturen. Trotzdem muss durch Kühlung eine thermische Überlastung der betroffenen Bauteile verhindert werden und die Schmierfähigkeit des Ölfilms zwischen Kolben und Zylinderfläche erhalten bleiben. Auf diese Thematik wird näher in Absatz 3.2 eingegangen. Die Energie des Kraftstoffs wird bei wassergekühlten Verbrennungsmotoren, jenach Brennverfahren, grob gerechnet zu einem Drittel in Nutzarbeit umgesetzt, ein weiteres Drittel wird über die Kühlung abgeführt und das letzte Drittel geht über das Abgas verloren. ([1], S. 785)

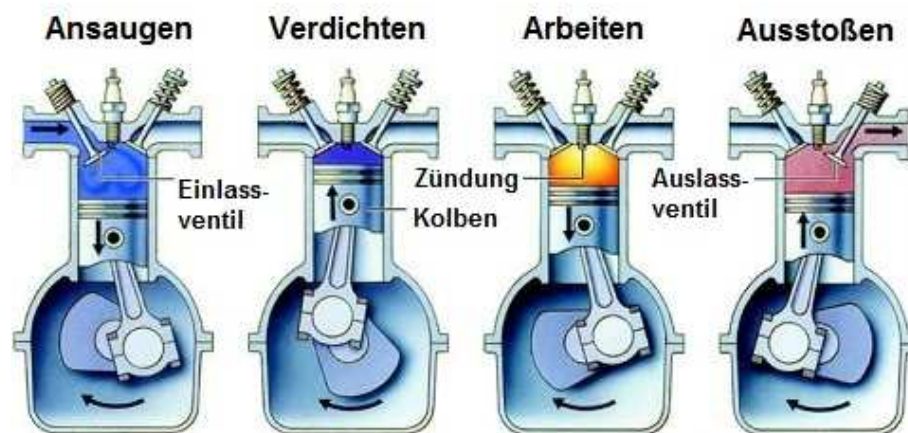


Abbildung 3.1 Prozessschritte eines Kolbenmotors

Grundlagen

Die Gemeinsamkeit aller Kolbenmotoren sind die vier Prozessschritte: Ansaugen, Verdichten, Arbeiten und Ausstoßen. Hierbei treibt der Kolben in geradliniger Bewegung in Richtung Kurbelwelle. Über die Pleuelstange wird diese Bewegung in die rotierende Bewegung der Kurbelwelle umgesetzt. In *Abbildung 3.1* sind die Prozessschritte dargestellt. Diese Vorgänge werden je nach Bau- und Funktionsweise des Motors unterschiedlich gesteuert. Für die Funktion ist es wichtig, dass die Ausdehnung, durch die Verbrennung eines Luft-Kraftstoff-Gemisches, bei höherem Druck geschieht als das Verdichten. Bei aufgeladenen Ottomotoren wird durch den höheren Ladedruck eine höhere Kompressionsendtemperatur erreicht. Damit steigt die Gefahr des Selbstzündens oder des Klopfens. Deshalb kann es notwendig werden, das Verdichtungsverhältnis abzusenken. Das Verdichtungsverhältnis „ ϵ “ ist als Quotient aus maximalen und minimalen Zylindervolumen definiert. Befindet sich der Kolben im unteren Totpunkt (UT) liegt das maximale Zylindervolumen vor. Bei Kolbenstellung im oberen Totpunkt (OT) ist das Volumen minimal und wird als Kompressions- oder Totvolumen bezeichnet. (aus [1]) *Abbildung 3.2* stellt das Hub- und Kompressionsvolumen schematisch dar.

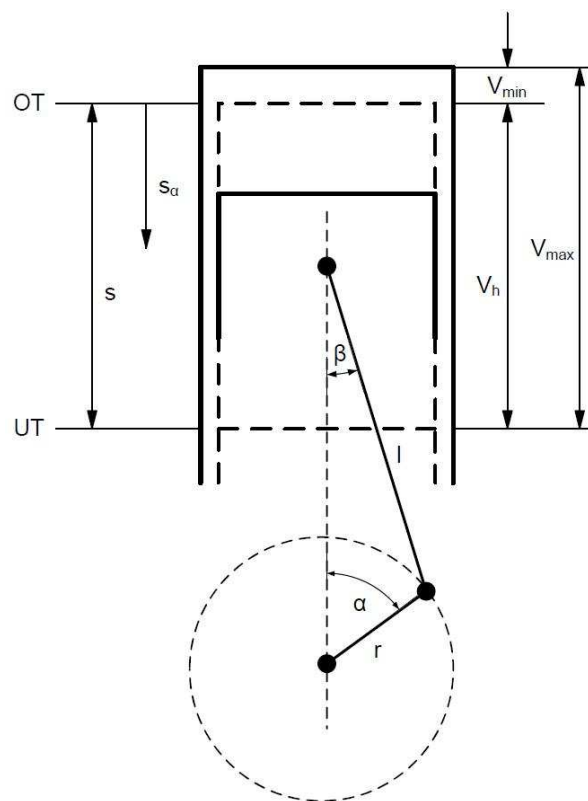


Abbildung 3.2 Hub- und Kompressionsvolumen([1], S.16)

Grundlagen

Für das Verdichtungsverhältnis eines 4-Takt Motors ergibt sich somit:

$$\varepsilon = \frac{V_{\min}}{V_{\max}}$$

Nach oben hin wird das Verdichtungsverhältnis beim Ottomotor durch Klopfen und Glühzündung begrenzt. In jedem Fall muss der Zündbeginn beim Ottomotor in Richtung „spät“ verschoben werden, um unzulässig hohe Zünddrücke beziehungsweise klopfende Verbrennung zu vermeiden. (aus [1])

Beim Verbrennungsmotor wird zwischen inneren, effektiven und mechanischen Wirkungsgrad unterschieden. Der innere und effektive Wirkungsgrad geht zunächst von der im Kraftstoff gespeicherten Energie aus. Die zugeführte Energie pro Zeit ergibt sich zu:

$$\frac{E_K}{t} = \dot{m}_K \cdot H_U$$

mit: $\dot{m}_K$ = zugeführte Kraftstoffmasse pro Zeit

H_U = unterer Heizwert des Kraftstoffes

Wird die Motorleistung als Nutzen des Motorprozesses und die zugeführte Kraftstoffenergie pro Zeit als Aufwand bezeichnet, ergibt sich der Wirkungsgrad „ η “ zu:

$$\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{P}{\frac{E_K}{t}} = \frac{P}{\dot{m}_K \cdot H_U}$$

innere Wirkungsgrad „ η_i “

$$\eta_i = \frac{P_i}{\dot{m}_K \cdot H_U}$$

effektive Wirkungsgrad „ η_e “

$$\eta_e = \frac{P_e}{\dot{m}_K \cdot H_U}$$

Grundlagen

Der mechanische Wirkungsgrad wird durch das Verhältnis von effektivem Wirkungsgrad zu innerem Wirkungsgrad beschrieben:

$$\eta_m = \frac{\eta_e}{\eta_i} = \frac{P_e}{P_i}$$

Der zu testende Verbrennungsmotor ist ein Ottomotor, nämlich ein Opel Ecotec Motor mit drei Zylindern und einem Gesamthubraum von ca. einem Liter. Aufgrund der 3 Zylinder ist der Massenausgleich ungünstig, der meistens durch eine zusätzliche Ausgleichswelle verbessert wird. Der Zündabstand beträgt 240°.



Abbildung 3.3 Im Fahrzeug eingebauter Opel Ecotec Motor

Das Zündverfahren des Ottomotors ist die Fremdzündung. Bei der Fremdzündung wird das Entzünden des homogenen Luft-Kraftstoff-Gemisches durch eine Zündkerze eingeleitet, optimal kurz vor dem oberen Totpunkt. Der Motor wird seit 1996 als Versuchsmotor verwendet. Details zum Versuchsmotor sind in der *Tabelle 3.1* dargestellt und in der Diplomarbeit von dem Herrn Timm Bröcker zu finden.

Tabelle 3.1 Technische Daten des Verbrennungsmotor

Technische Daten des Verbrennungsmotors	
Hersteller	Adam Opel AG
Baureihe	Ecotec - Compact
Motortyp	X10XE, 1.0 l DOHC / MPFI
Zylinderzahl	3
Ventile / Zylinder	4
Hubraum	973 [cm ³]
Hub	78,6 [mm]
Bohrung	72,5 [mm]
Hub / Bohrung	1,08
Verdichtungsverhältnis	10,1 : 1
Zylinderabstand	78 [mm]
Zwickelbreite (Stegbreite)	5,5 [mm]
Pleuellänge	134,3 [mm]
Motorlänge	359 [mm]
Motorgewicht	84 [kg]
Hauptlagerdurchmesser	50 [mm]
Pleuellagerdurchmesser (unten)	43 [mm]
Kolbenbolzendurchmesser	18 [mm]
Kolbengewicht	0,262 [kg]
Winkel zwischen den Ventilen	52°
Zündfolge	1 – 2 – 3 KW
Ventilsteuerzeiten	Aö 59°KW v. UT, Eö 29°KW v. OT As 18°KW n. OT, Es 44°KW n. UT

Grundlagen

Die klassischen Merkmale eines Ottomotors sind:

- Fremdzündung: Durch den Funken einer Zündkerze wird das Gemisch zu einem definierten Zeitpunkt gezündet. Der Dieselmotor zündet im Gegensatz selbst.
- Gemischbildung: Vermischung von Kraftstoff und Luft schon vor der Verdichtung zu einem homogenen Gemisch und nicht erst während der Verbrennung wie beim Dieselmotor.
- Motorleistungsregelung: Die Leistung wird mit der zugeführten Luftmenge durch die Drosselklappe oder mit gesteuerten Einlassventilen geregelt. Beim Dieselmotor erfolgt sie dagegen über die Menge des eingespritzten Kraftstoffes.
- Kompressionsverhältnis: Wird durch die Höchsttemperatur und den Höchstdruck limitiert. Ein hohes Verdichtungsverhältnis begünstigt das sogenannte Klopfen (unkontrollierte Verbrennung) oder eine Selbstentzündung des Kraftstoffes.

3.2 Kühlung eines Kraftfahrzeugs

Die Kühlung eines Verbrennungsmotors ist für die Lebensdauer von großer Bedeutung. Aufgrund der hohen Temperaturen, die im Verbrennungsmotor auftreten, muss er, zum Schutz der Bauteile und des Schmieröles, gekühlt werden. Es wird unter direkter und indirekter Motorkühlung unterschieden. Die direkte Kühlung erfolgt mit dem Fahrtwind (Luftkühlung). Wobei die Fahrtwindkühlung eventuell durch ein Gebläse unterstützt wird. Die indirekte Kühlung eines Verbrennungsmotors erfolgt mit einer Wasser-Frostschutz-Korrosionsschutzmischung oder mit Öl (Flüssigkeitskühlung). Dabei wird die Wärme durch Wärmeübertrager an die Umgebung abgeführt.

Allgemein sollten moderne Kühlanlagen von Verbrennungsmotoren im Kraftfahrzeug, mit wenigen Ausnahmen, folgende Merkmale aufweisen: ([1], S. 785)

- Wasserkühlung der Motoren mit Zwangsumlauf des Kühlmittels durch eine über Riemen angetriebene Kreislpumpe
- Betrieb des Kühlsystems bei bis zu 1,5 bar Überdruck
- Einsatz einer Mischung von Wasser und Frostschutzmittel, meist Äthylenglykol mit einem Volumenanteil von 30...50 %
- Aluminium in korrosionsbeständigen Legierungen als dominierender Kühlerwerkstoff
- Kühlmittel mit zusätzlichen Inhibitoren zum Korrosionsschutz von Aluminiumkühlern
- Kunststoff als dominierender Werkstoff für Wasserkästen, Lüfter und Lüfterzarge
- Regelungseingriff über den Lüfterantrieb und den Kühlmittel-Thermostaten
- Einsatz von Ladeluft-, Motoröl-, Getriebeöl-, Hydrauliköl- und Abgaskühlern je nach Motortyp, Motorleistung und Ausrüstungsmerkmalen
- Vormontieren aller Kühlungskomponenten des Frontendbereichs in einer funktionalen Einheit, dem sogenannten Kühlmodul

Zu diesen Merkmalen haben die steigenden Anforderungen bezüglich Kraftstoffverbrauch, Abgasemissionen, Lebensdauer, Fahrkomfort, etc. geführt. Des Weiteren gewinnt, neben der Entwicklung für kompaktere, leichtere und effizientere Komponenten, die elektronisch geregelte Kühlanlage immer mehr an Bedeutung. (aus [1])

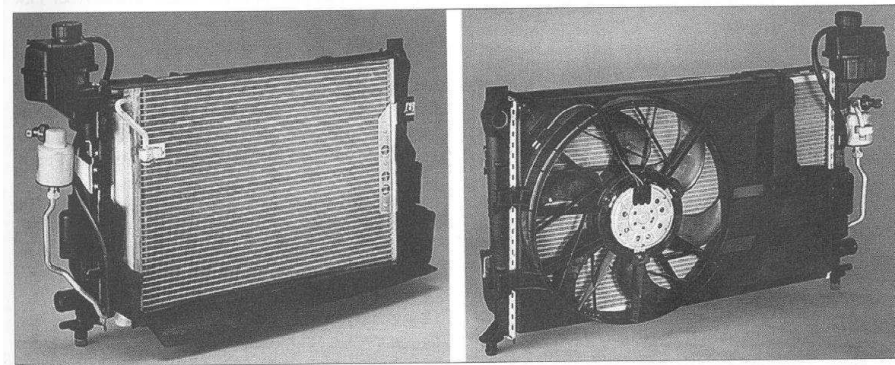


Abbildung 3.4 Kühlmodul ([1], S. 793)

In *Abbildung 3.4* wird ein Kühlmodul für den Pkw-Einsatz mit Kühlmittelkühler, Ausgleichsbehälter, Klimakondensator, Kältemittelsammler sowie E-Lüfter mit Zarge abgebildet. Kühlmodule sind Baueinheiten, die ausschließlich aus Komponenten zur Kühlung und eventuell Klimatisierung eines Fahrzeugs bestehen. Seit Ende der 80er Jahre findet die Modultechnik immer mehr Verbreitung. Sie bietet technische und wirtschaftliche Vorteile. So ist beim Fahrzeughersteller weniger Aufwand für Entwicklung, Erprobung und Montage nötig und durch die optimale Auslegung und Abstimmung der Komponenten entsteht ein besserer Wirkungsgrad im Fahrzeug. (aus [1])

3.3 Abgassystem eines Kraftfahrzeugs

Die Abgasanlage kann aus einem oder zwei Strängen bestehen und fasst die aus den Zylindern strömenden Abgase zusammen. Sie dient der Reinigung der Abgase, reduziert die Abgasgeräusche und leitet die gereinigten Abgase an einer für Fahrzeug und Insassen günstigen Stelle ab. Besonders zu beachten ist, dass die Leistung des Motors durch den Strömungswiderstand in der Anlage, dem sogenannten Abgasgegendruck, möglichst wenig beeinträchtigt wird. Um diese Ziele optimal umzusetzen, wird das Abgassystem als Ganzes betrachtet und entwickelt, sodass alle Komponenten aufeinander abzustimmen sind. In *Abbildung 3.5* sind zur Veranschaulichung drei Abgassysteme abgebildet.



Abbildung 3.5: Abgassysteme

Die Umsetzung ist sehr komplex, der Grund dafür liegt in den extremen Belastungen, denen die Anlage ausgesetzt ist. Die heißen Abgase (ca. 2000°C) werden impulsartig mit Überschallgeschwindigkeit in die Abgasanlage geschossen. Dabei entstehen explosionsartige Knallgeräusche, die vom Motor-Auslassventil bis zum Ende der Abgasanlage um 50dB(A) reduziert werden müssen (Reduzierung auf ca. 3% des Ausgangsgeräusches, aufgrund der logarithmischen Geräuschkala). Um dies zu bewerkstelligen, muss die Schallenergie reduziert werden. Prinzipiell gibt es dafür zwei Möglichkeiten: Absorption und Reflexion des Schalles im Schalldämpfer. Weitere schalldämpfende Elemente sind Resonatoren und in Einzelfällen Abgasklappen (aus [4]).

Grundlagen

Zudem haben Katalysatoren eine schalldämpfende Wirkung. *Abbildung 3.6* stellt eine Form der Schallreduktion dar.

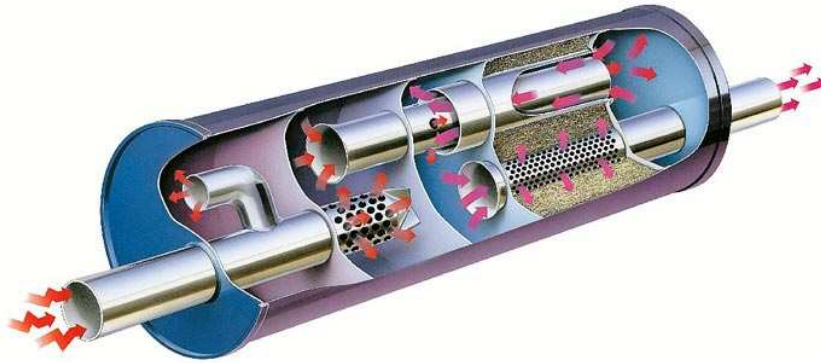


Abbildung 3.6: Schallreduktion

Die Hauptaufgabe der Katalysatoren ist die Reinigung des Abgases. Ein Katalysator funktioniert nach dem Prinzip der Adsorption, dabei werden Schadstoffe an der Oberfläche eines Feststoffes, durch eine chemische Reaktion, gebunden. Er besteht aus einem Edelstahlgehäuse, in dem ein metallischer (Metalith) oder keramischer (Monolith) Träger gelagert ist. Dieser Träger ist in Längsrichtung von einer Vielzahl feiner Kanäle durchzogen. So wird eine große Oberfläche geschaffen, damit der Katalysator seine optimale Wirkung entfalten kann. Die Oberfläche der Träger besteht aus einer hochporösen Schicht (Wash-Coat), in die Edelmetalle (Platin, Paladium und/oder Rhodium) eingelagert sind. Diese Edelmetalle sind der eigentliche Katalysator zur Abgasreinigung (aus [5]). Die *Abbildung 3.7* zeigt einen Katalysator mit Lambdasonde.

Grundlagen

Die Lambdasonden sorgen gemeinsam mit dem Steuergerät in allen Lastzuständen des Motors für die optimale Zusammensetzung des Luft-Kraftstoff-Gemisches. Bei neuen Fahrzeugen ist im Abgassystem je eine Lambdasonde vor und nach dem Katalysator installiert. Die zweite Lambdasonde nach dem Katalysator ist die Diagnose-sonde, die erkennt, ob die Regelsonde vor dem Katalysator optimal arbeitet. Des Weiteren lässt der Einsatz von zwei Lambdasonden eine Aussage über die Funktionalität des Katalysators zu (aus [6]). In *Kapitel 6* wird auf die Lambdasonde genauer eingegangen.

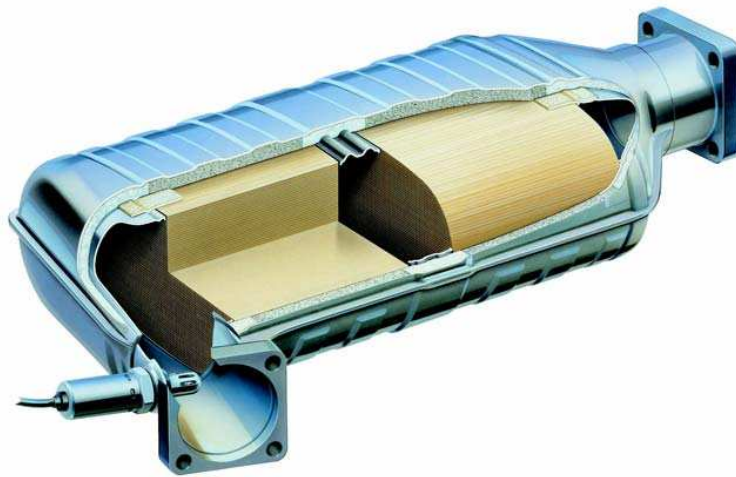


Abbildung 3.7: Katalysator

Eine moderne Abgasanlage besteht beim Pkw prinzipiell aus der vorderen Anlage und der hinteren Anlage. Die vordere Anlage beinhaltet den Abgaskrümmmer und das Reinigungssystem (Katalysatoren), während die hintere Anlage aus dem Schalldämpfersystem besteht. Des Weiteren sind Schwingungstilger und Entkoppel-Elemente verbaut, die große Ausschläge des Abgassystems, aufgrund von Schwin- gungen, verhindern sollen. So werden der Fahrkomfort und die Lebensdauer der An- lage erhöht. Alle Komponenten des Abgassystems sind durch Rohre miteinander verbunden und die gesamte Abgasanlage ist am Fahrzeugboden, durch elastische Aufhängungselemente, befestigt. Die Anzahl der Schalldämpfer und Katalysatoren richtet sich nach Art und Leistung des Motors und den angestrebten Emissionswer- ten (aus [4]).

3.4 Wirbelstrombremse

Derzeit findet die Wirbelstrombremse international für den Schienenverkehr viel Beachtung. Die Vorteile liegen in ihrem verschleißfreien und damit äußerst wirtschaftlichen Betrieb. Der Einsatz der Wirbelstrombremse als Leistungsbremse auf Motorprüfständen dient der Abbremsung des Prüflings. Vorteile bieten die gute Regelbarkeit und die Nutzung zur Leistungsmessung. Des Weiteren werden Wirbelstrombremsen im Fitnessbereich, Nutzfahrzeugbereich, für Achterbahnen oder Messgeräte verwendet. Die *Abbildung 3.5* stellt den Aufbau einer wassergekühlten Leistungsbremse für Motorprüfstände dar

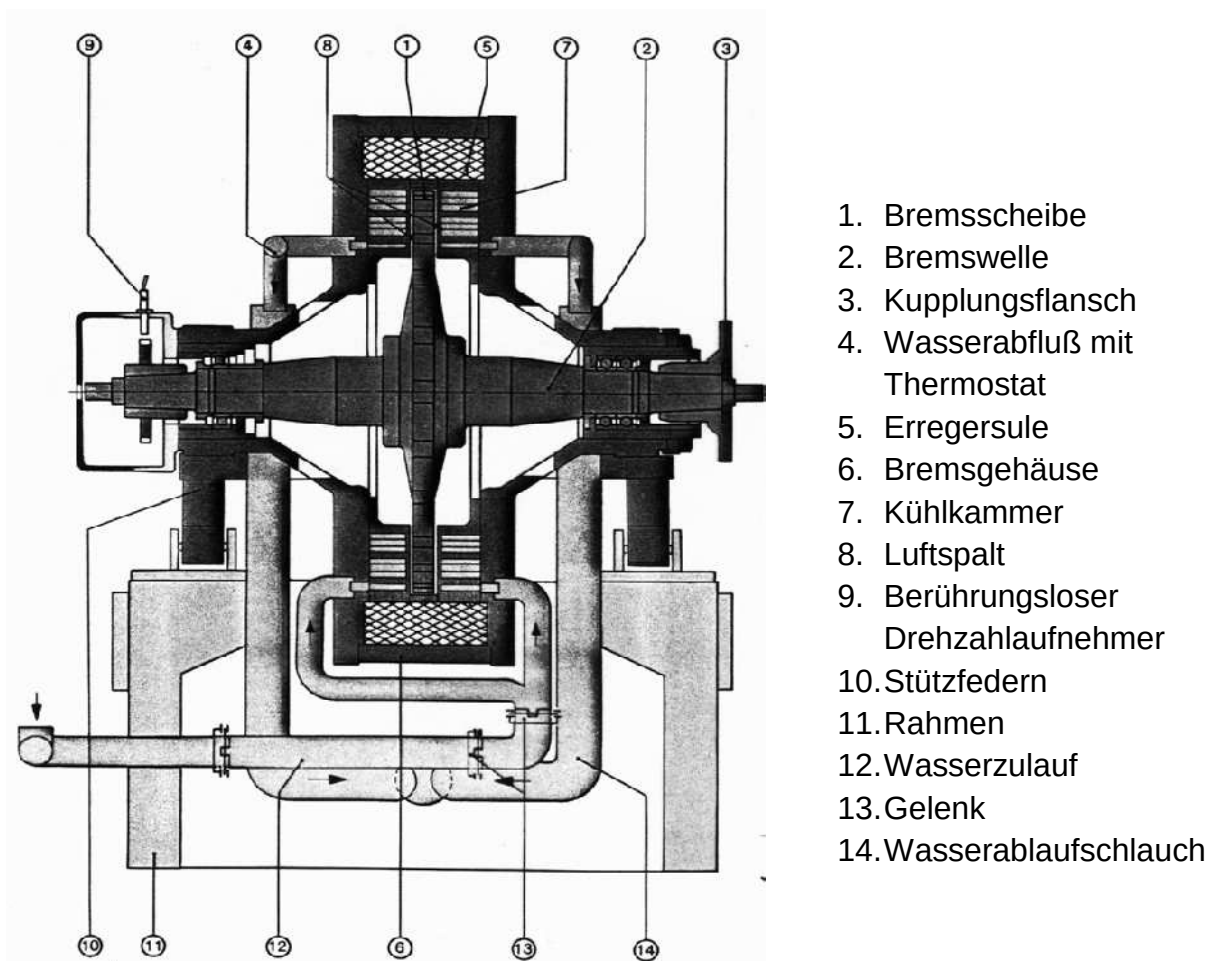


Abbildung 3.8 Aufbau der wassergekühlten Leistungsbremse

Bei Leistungsbremsen kommt es zur Rotation der Metallscheibe in einem Magnetfeld, wobei in der Scheibe Wirbelströme erzeugt werden. Diese Wirbelströme erregen ein weiteres Magnetfeld, das eine entgegengesetzte Wirkung aufweist und dadurch

Grundlagen

die Bewegung der Scheibe hemmt. Die Energie der Wirbelströme, die sich in Wärme umsetzt und abgeführt werden muss, entsteht aus der mechanischen Arbeit des Verbrennungsmotors. Hierbei fließt das Kühlmittel (Wasser) in die Kühlkammern der Wirbelstrombremse und nimmt die entstandene Wärme direkt auf und führt sie ab. (aus [2]).

Die Stärke der Bremswirkung ist von mehreren Parametern abhängig:

- Leitfähigkeit der Bremsscheibe: Die induzierten Ströme sind direkt proportional der elektrischen Leitfähigkeit des verwendeten Materials. Eine Kupferscheibe wird daher stärker abgebremst als eine baugleiche Stahlscheibe.
- Richtung des Magnetfeldes: Die größte Bremswirkung wird erzielt, wenn das Magnetfeld die bewegliche Scheibe senkrecht durchsetzt.
- Luftspalt: Je größer der Luftspalt, desto kleiner ist die maximale Bremswirkung.
- Form der Scheibe: Scheiben mit umfänglich kammförmiger Struktur oder Rissen weisen eine verringerte Bremswirkung auf, da sich die ringförmigen Wirbelströme nicht mehr großräumig ausbilden können.
- Fläche unter dem Erregerpol: Je kleiner die Fläche unter dem Pol ist, desto geringer ist die Bremswirkung.
- Geschwindigkeit: Die Bremswirkung ist stark von der Relativgeschwindigkeit zwischen Feld und Scheibe abhängig.
- Spulenstrom: Je höher der durch den Magneten fließende Strom ist, desto stärker wird das Magnetfeld und damit die Bremskraft.

4 3D-Modellierung

Sinn und Zweck der 3-D-Modellierung ist, eine genaue Planung und Veranschaulichung des Opel Ecotec Prüfstands in der Motorbox vor Beginn der Arbeiten. Dazu zählen beispielsweise die Planung der Rohrverlegungen, der Kraftstoffzufuhr oder die Unterkonstruktion. Die 3-D-Modellierung bietet zudem Werkzeuge, mit denen man eine Visualisierung des Prüfstandes vornehmen kann. So zum Beispiel die Kühlwasserkreisläufe.

Ein weiterer Vorteil, den die 3-D-Modellierung bietet, ist eine Ableitung von Plänen, die der Verlegung von elektrischen Leitungen dient. Wie der Plan für die Verlegung der elektrischen Leitungen aussieht, ist in Kapitel 6.5 zusammengefasst. Es sei angemerkt, dass die 3-D-Modellierung keine Originalabbildung des Opel Ecotec Prüfstandes darstellt. Die Planung und Veranschaulichung steht hierbei im Vordergrund. Aus dem Grund finden sich einige Vereinfachungen in den 3-D-Modellen. Technische Zeichnungen bilden die höchste Hierarchieebene.

Alle 3-D-Modelle sowie Zeichnungen und Stücklisten sind mit der Konstruktionssoftware CATIA V5 R19, von der Firma Dassault Systems erstellt, und befinden sich im Anhang.

4.1 Motor-Box im Ausgangszustand

Die 3-D-Modellierung der Motorbox erforderte vor allem Grundabmaße wie Höhe, Breite, Tiefe, den Abstand der Gitterroste zum Boden der Motorbox, Lage und Abmaße der vorinstallierten Komponenten wie, Plattenwärmetauscher und Doppel-T-Träger. Ein weiteres wichtiges Merkmal der Motorbox ist, dass sich unter dem Gitterrost nur starre Leitungen befinden (sollten). Das bedeutet, dass sich oberhalb der Gitterroste, auf der Prüfstandsebene, der Prüfstand sich praktisch mit flexiblen Schläuchen an die Motorboxleitungen koppeln lässt. Dies ist erforderlich, da sich die Komponenten auf einem pneumatisch gesteuerten Luftkissen befinden und der Prüfstand mit seinen Anschlüssen beweglich ist. Ein weiterer Vorteil ist, dass sich die Prüfstands Komponenten ohne viel Aufwand, austauschen lassen.

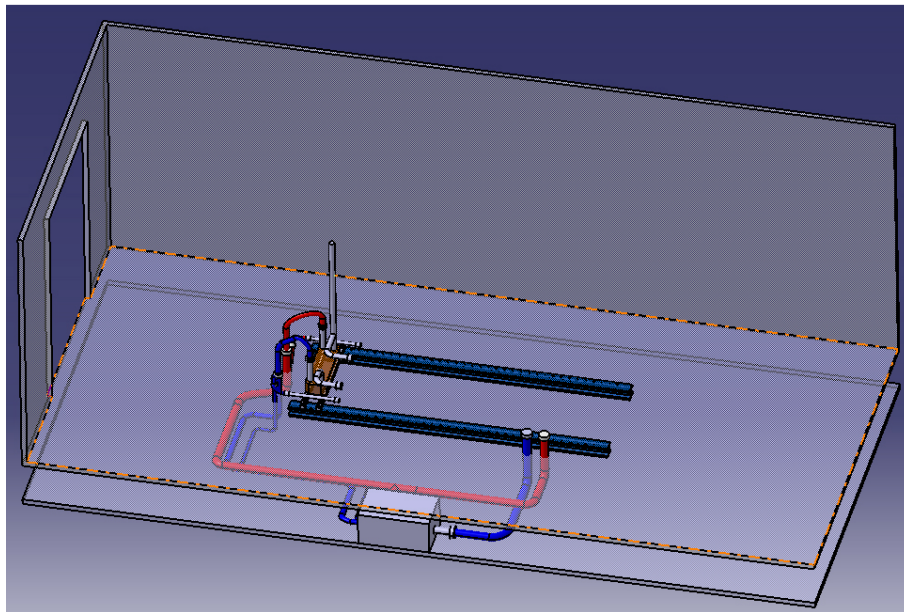


Abbildung 4.1: Motor-Box im Ausgangszustand als 3D.Modell

Es sei erwähnt, dass eine Leitung hinzugekommen ist. Hierzu mehr im *Kapitel 4.2.2*. Die folgende Grafik zeigt den Ausgangszustand der Motorbox mit Visualisierung der Zu- und Abläufe. Hierbei sind die Ablaufleitungen rot und die Zufuhrleitungen blau dargestellt.

4.2 Prüfstandskomponenten

Für die 3-D-Modellierung, der Prüfsands Komponenten steht, uns der Motor mit seinem Gestell zu Verfügung, eine Kardanwelle, die Wirbelstrombremse, die ebenfalls ein Gestell besitzt, ein Plattenwärmetauscher, ein Rohrbündelwärmetauscher und eine auf Rollen verschiebbare Kraftstoffwaage.

4.2.1 Prüfmotor mit Gestell

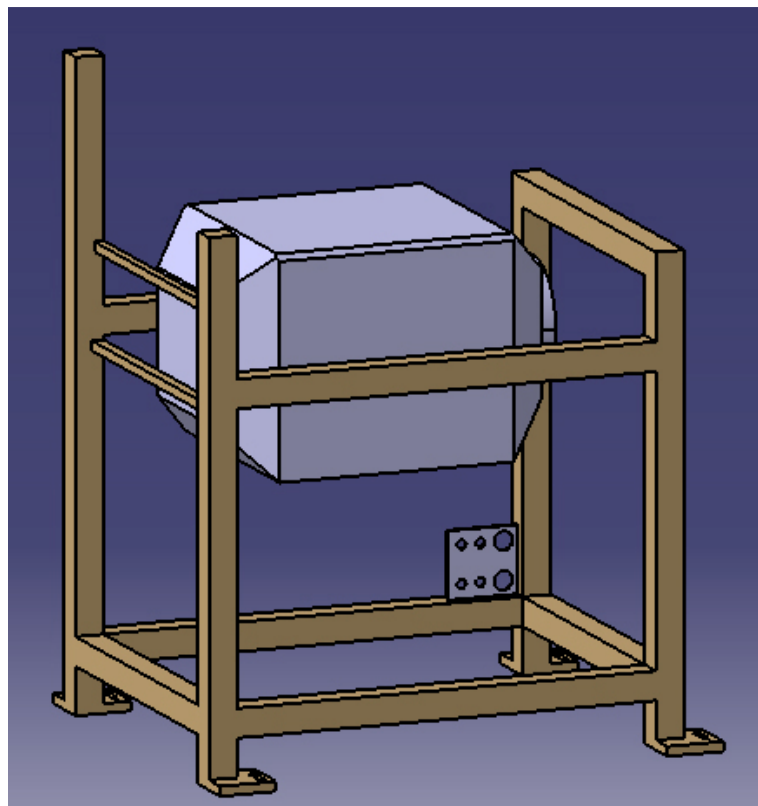


Abbildung 4.2: Motor mit Gestell als 3D-Modell

Der Prüfmotor ist im 3-D-Modell vereinfacht dargestellt. Seine Position ist verschiebbar. Er ist in 3-D mit dem Kompassstool frei im Gestell positioniert. Die Kühlmittelschlüsse, der Öl- zu und Ablauf und die Kraftstoffzufuhr sind, die Leitungen die zum Motor führen. Entscheidender hier ist das Gestell. Bei der Abnahme der Maße ist es höchst wichtig die Befestigungspunkte genau nachzubilden, da darauf die Unterkonstruktion aufbaut. Das Gestell wird mit 4 x M12 Schrauben und Muttern auf der Unterkonstruktion befestigt.

4.2.2 Wirbelstrombremse W70 mit Gestell

Auch diese ist vereinfacht dargestellt. Das Gestell steht auch hier im Vordergrund. Daher ist es wichtig die Befestigungspunkte genau zu messen. Die Wirbelstrombremse besitzt einen Kühlkreislauf. Hier führen zwei flexible Schläuche hin. Die Befestigung des Gestells wird mit 3 x M12 Schrauben sowie Muttern vorgenommen.

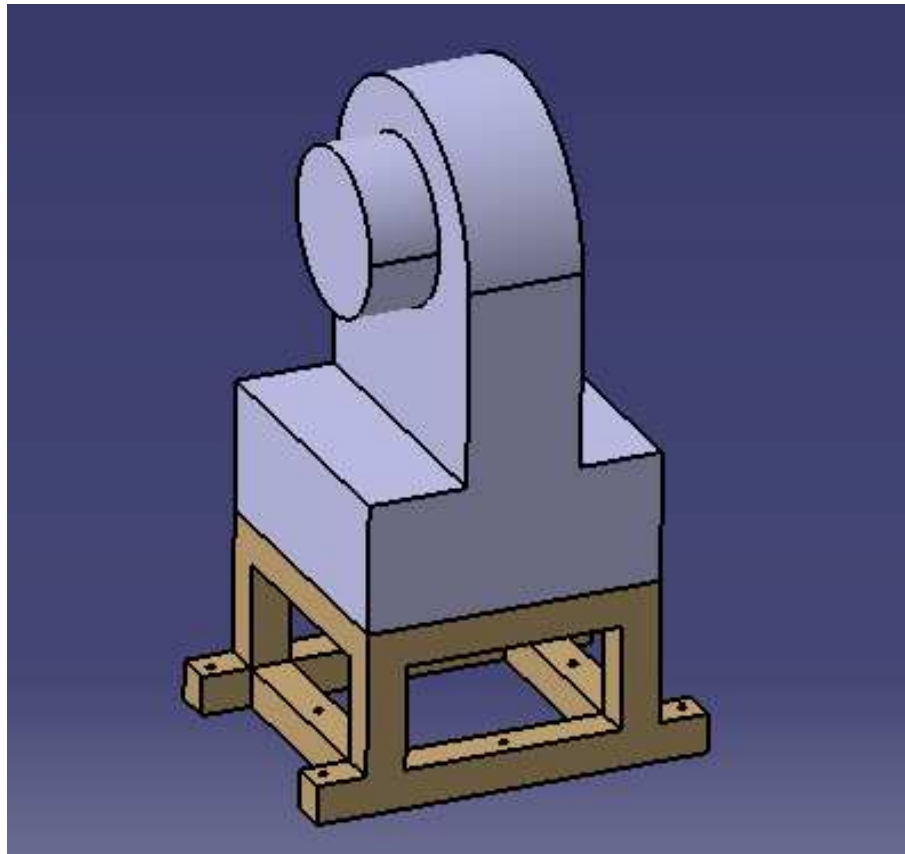


Abbildung 4.3: Wirbelstrombremse mit Gestell als 3D-Modell

4.2.3 Plattenwärmetauscher

Der von der Motorbox zur Verfügung gestellte Plattenwärmetauscher ist im Hinblick auf die Anschlusspositionen genau nachgebildet. Er besitzt acht Anschlüsse. Vier davon Prüfstandsseitig und vier in Richtung der starren Leitungen unter dem Gitterrost. Für die Befestigung auf den Doppel-T-Trägern sind 4 x M16 Schrauben vorgesehen.

.

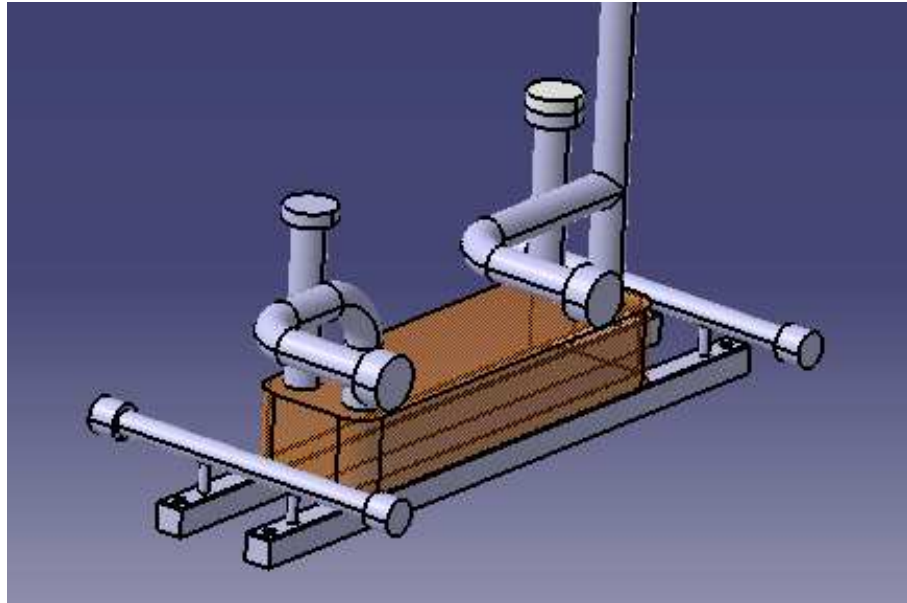


Abbildung 4.4: Plattenwärmetauscher als 3D-Modell

4.2.4 Rohrbündelwärmetauscher

Der Rohrbündelwärmetauscher ist ebenfalls vereinfacht dargestellt. Er besitzt einen Kühlwasserkreislauf und einen Ölkreislauf. Dementsprechend besitzt er vier Anschlüsse, die mit flexiblen Schläuchen zu verbinden sind.

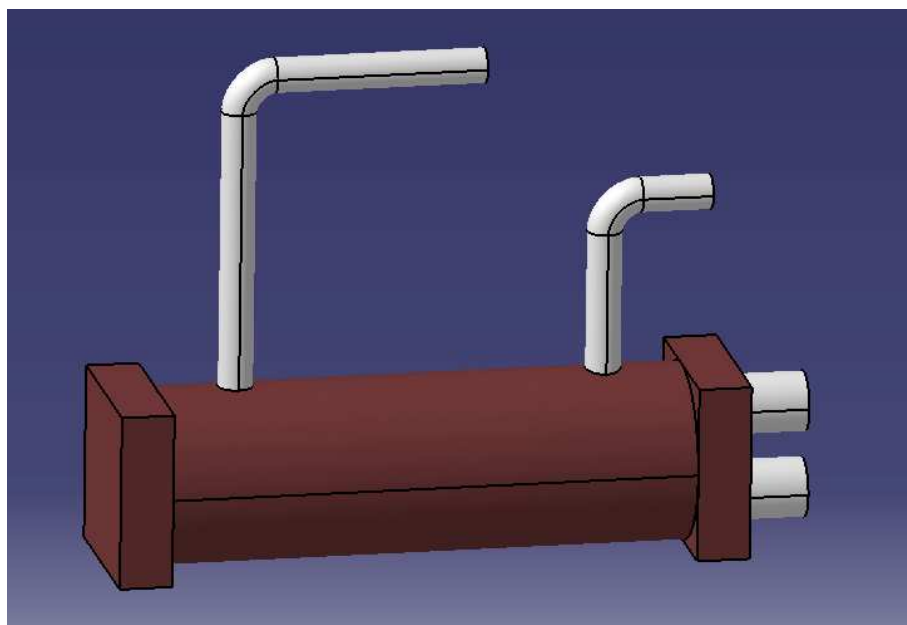


Abbildung 4.5: Rohrbündelwärmetauscher als 3D-Modell

4.2.5 Kardanwelle

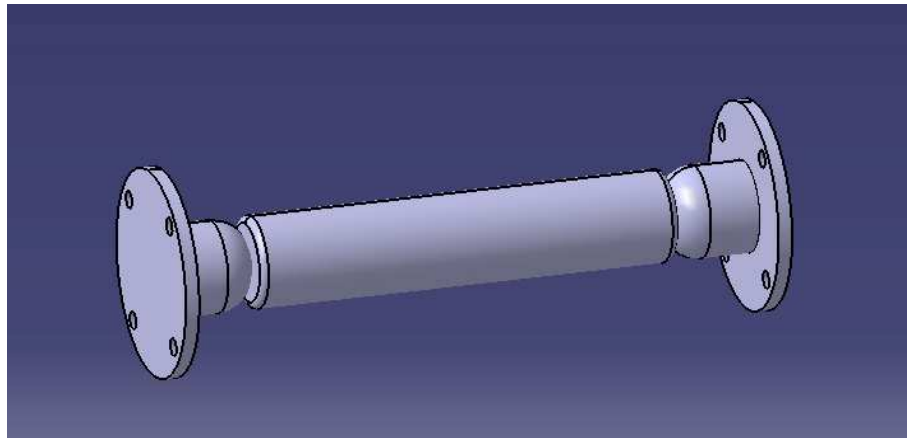


Abbildung 4.6: Kardanwelle als 3D-Modell

Diese ist hinsichtlich der Funktionalität exakt im 3-D-Modell nachgebildet. Im Modell sind zusätzlich Parameter eingebaut, mit deren Hilfe man die Winkel einstellen kann. Befestigungselemente der Kardanwelle sind 8 x M6 Schrauben.

4.2.6 Kraftstoffwaage

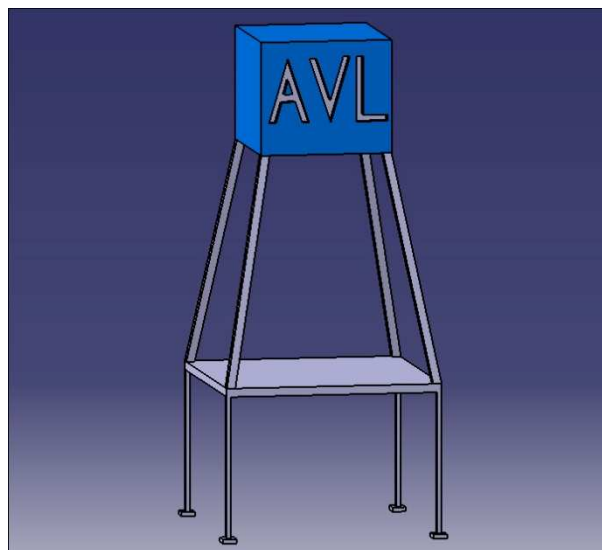


Abbildung 4.7: Kraftstoffwaage als 3D-Modell

Die Kraftstoffwaage ist hinsichtlich der Positionierung frei verstellbar, soweit es die Leitungen der Kraftstoffzufuhr und die der elektrischen Leitungen zulässt. Sie befin-

3D-Modellierung

det sich in der Motorbox auf einem Gestell, das mit Rollen versehen ist. Die Anschlussbelegung der Kraftstoffwaage findet sich in *Kapitel 6.2.4*.

4.3 Unterkonstruktion

Die Unterkonstruktion besteht aus vier bearbeiteten U-Profilen. Sie sind mit Freimachungsbohrungen für M16-Verschraubungen und Distanzhülsen versehen und besitzen Langlochfreimachungen zur Feinjustierung von Motor und Bremse. Sie bilden die tragenden Elemente des Prüfstands. Daher ist hier, zumindest überschlägig, eine Berechnung sinnvoll. Diese findet sich in *Kapitel 5*.

4.3.1 U-Profile

In der folgenden Abbildung ist ein bearbeitetes U-Profil für die Unterkonstruktion dargestellt. Insgesamt gibt es drei Verschiedene.

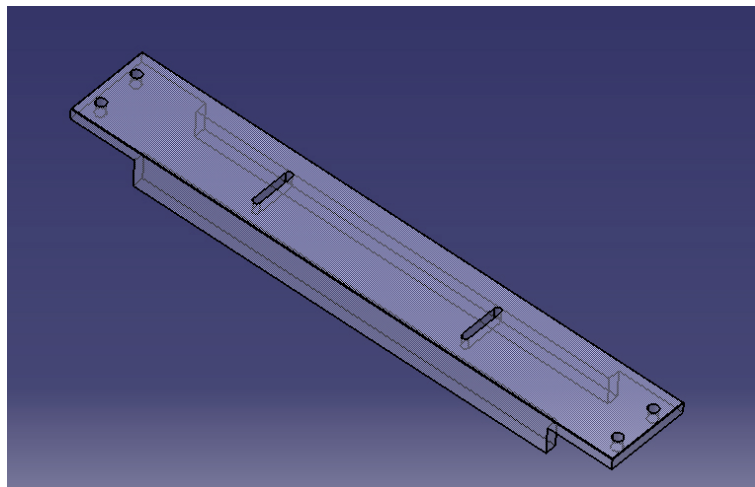


Abbildung 4.8: U-Profil als 3D-Modell

4.3.2 Befestigungselemente

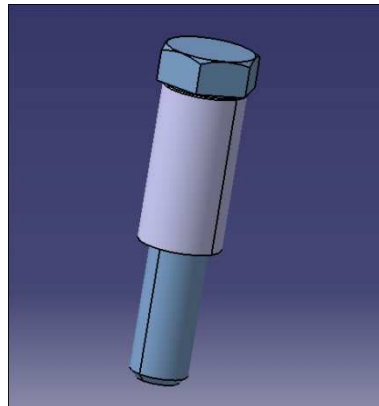


Abbildung 4.9: M16-Schraube mit Distanzhülse als 3D-Modell

Die Unterkonstruktion benötigt für die Befestigung der bearbeiteten U-Profile 10 x M16 Schrauben. Zur Verfügung stehen zwar M16-Schrauben aus dem Inventar der Hochschule für angewandte Wissenschaften, jedoch mit Längen, die ungeeignet für unseren Anwendungsfall sind. Daher bietet sich der Bau von Distanzhülsen zur Überbrückung der Längen an.

4.3.3 Unterkonstruktion und Motorbox im Zusammenbau

Wie die Unterkonstruktion mit der Motorbox im Zusammenbau aussieht, ist in der folgenden Grafik zu sehen.

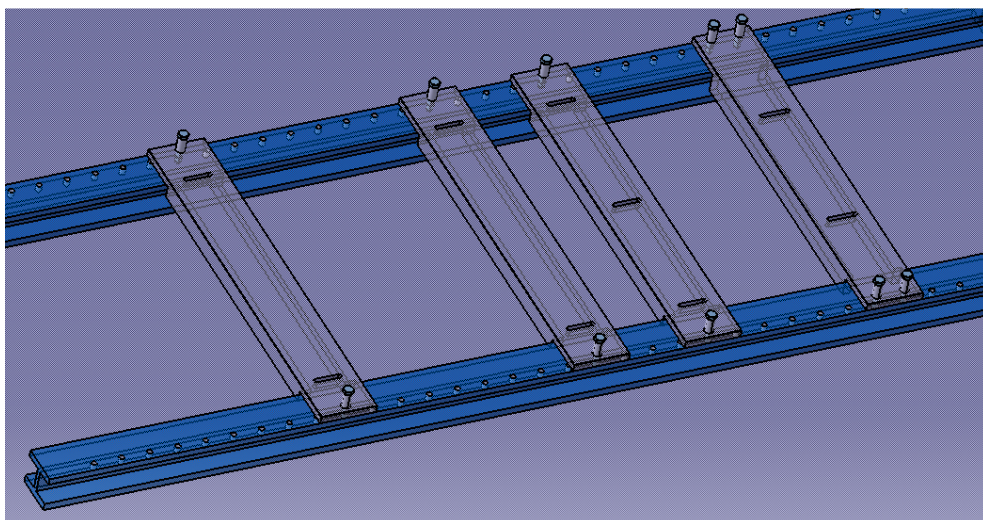


Abbildung 4.10: Unterkonstruktion und Motorbox im Zusammenbau als 3D-Modell

4.4 Prüfstand und Motorbox im Zusammenbau

In der folgenden Grafik ist der Prüfstand mit seinen Komponenten und der Motorbox im Zusammenbau zu sehen. Die Zulaufleitungen sind blau dargestellt, die Abläufe in Rot.

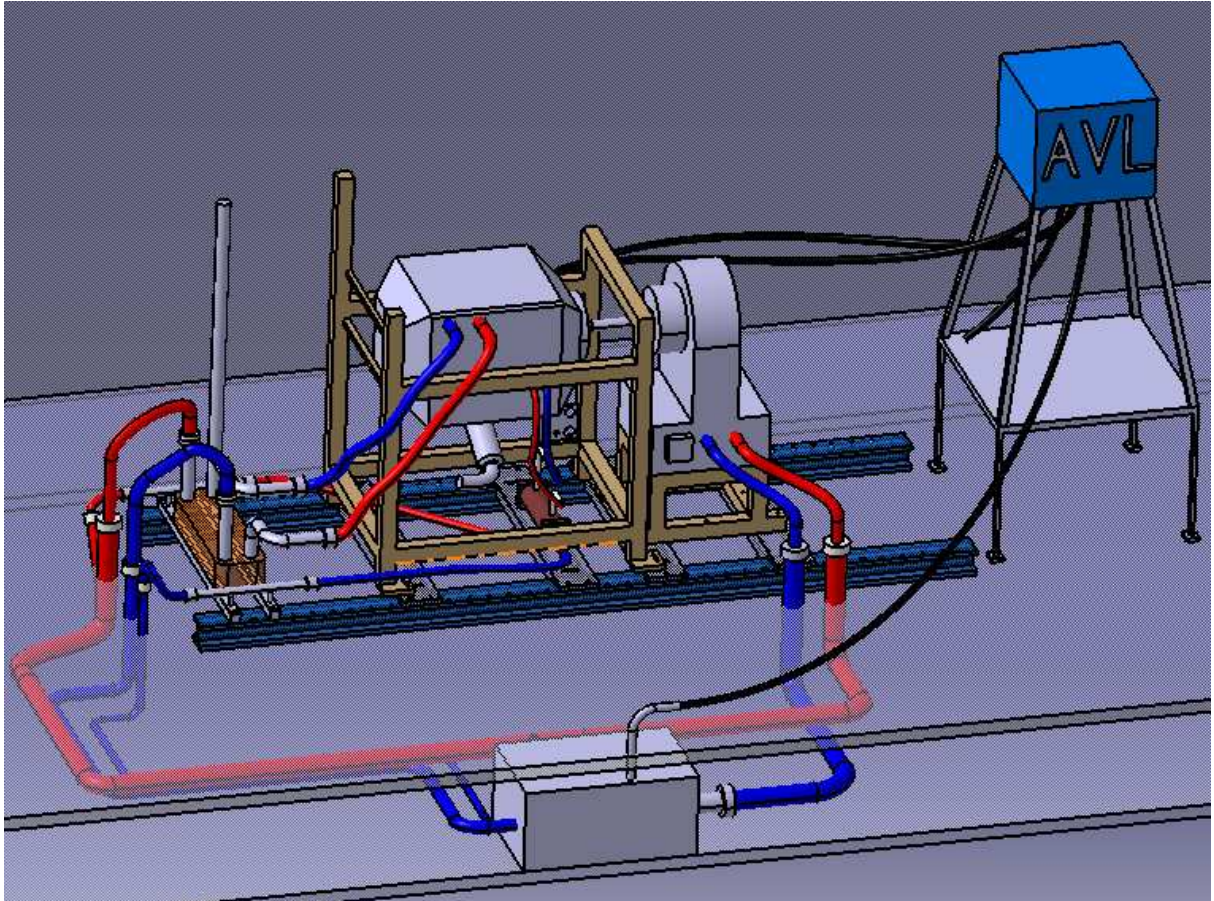


Abbildung 4.11: Prüfstand und Motorbox im Zusammenbau als 3D-Modell

5 Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

Wie in der Aufgabenstellung erwähnt, ist das Ziel dieser Diplomarbeit die Einrichtung des alten Motorprüfstandes mit allen notwendigen Anschlüssen in die neue Motor-Box. Anschließend wird der Motorprüfstand in Betrieb genommen und auf Funktionalität getestet. Der Prüfstand wurde zuvor im Rahmen einer Diplomarbeit von dem Herrn Timm Bröcker fertiggestellt.

Die Firma MBW Industrietechnik Service GmbH hat den Aufbau der Motor-Boxen vorgenommen.

Folgender Zustand der Motor-Box lag vor:

- Rohrleitungen für Kühlwasserzulauf und -ablauf der Wärmetauscher ist verlegt
- Kraftstoffversorgung ist gewährleistet
- Rauchgasabzug ist installiert
- Stromversorgung ist vorhanden
- Plattform für den Prüfstand ist vorhanden
(mit installierten Plattenwärmetauscher)

Kurzbeschreibung der zu verrichtenden Arbeiten:

- Montage der Prüfstands-Komponenten auf der Plattform
- Erstellen eines funktionalen Kühlsystems
- Realisierung der Abgasabführung
- Verlegung der elektrischen Leitungen für das Messsystem
- Erstellen der Kraftstoffversorgung

Das Verlegen der elektrischen Leitungen für das Messsystem und das Erstellen der Kraftstoffversorgung wird in *Kapitel 6* behandelt.

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

An der Motor-Box ist es notwendig einige Veränderungen vorzunehmen. Obwohl die Firma MBW Industrietechnik Service GmbH die Motor-Boxen soweit installiert haben, dass alle notwendigen Anschlüsse vorhanden sind, haben sie die Motor-Boxen nicht individuell auf einen speziellen Prüfstand abgestimmt. Die zu verrichtenden Arbeiten werden in diesem Kapitel detailliert beschrieben.



Abbildung 5.1 Ausgangszustand der Motor Box

Die *Abbildung 5.1* zeigt den Ausgangszustand der Motor-Box, während in *Abbildung 5.2* der fertiggestellte Verbrennungsmotorprüfstand zu sehen ist und so ein erstes Bild über die zu verrichtende Arbeit entsteht.



Abbildung 5.2 Verbrennungsmotorprüfstand(vorläufige Abb.)

5.1 Montage der Prüfstandkomponenten auf der Plattform

Zu den ersten Aufgaben gehörte eine Lösungswegfindung für die Montage der Prüfstandskomponenten auf der in der Motor-Box vorhandenen Plattform, die sich mittig im Raum befindet. Verwendete Komponenten sind der Prüfmotor, die Wirbelstrombremse, der Rohrbündelwärmetauscher und der Plattenwärmetauscher, der bereits von dem schon erwähnten Unternehmen angebracht wurde. Für die Montage stehen, die Zwei parallel zueinander liegende Doppel-T Träger, die mit M16-Bohrungen versehen sind, zur Verfügung. Der Abstand, zwischen den Doppel-T-Trägern, beträgt ca. 1 m. Jedoch erweist sich die Anbringung der Komponenten als schwierig. Da die vorgegebenen Fixierpunkte der Komponenten, wie z.B. an dem Gestell des Motors, nicht mit den Bohrungen der Plattform übereinstimmt. Aus diesem Grund wird eine geeignete Unterkonstruktion angefertigt. Zudem ist es von Bedeutung die Masse der Komponenten zu beachten, damit ein Durchbiegen der Unterkonstruktion verhindert wird. Um sich einen genauen Überblick über die Abmaße zu verschaffen, wird ein 3D-Modell mittels Catia V5 R19 von der Motor-Box mit den Prüfstandkomponenten erstellt. In *Kapitel 4* wird näher auf die 3D-Modellierung eingegangen.

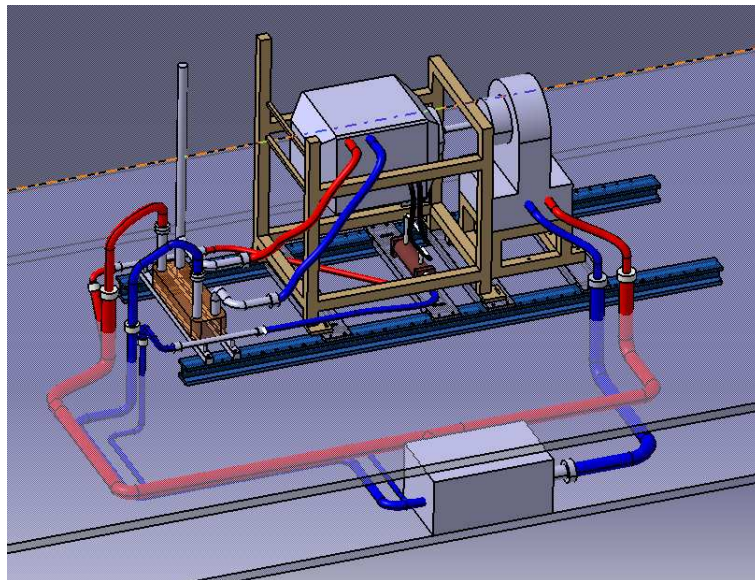


Abbildung 5.3 3D-Modell der Motor-Box

Die *Abbildung 5.3* zeigt die Unterteilung der Motor-Box, durch ein Gitterrost, in zwei voneinander getrennte Bereiche. Mittig im oberen Teil befindet sich die Plattform, die

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

mit den Doppel-T-Trägern angedeutet ist. Der Bereich unter dem Gitterrost bietet ausreichend Platz für alle Leitungen, die zur Versorgung des Prüfstandes mit Kühlwasser, Kraftstoff, Strom, etc notwendig sind.

Als Unterkonstruktion wird ein U-Profil aus Stahl gewählt, das sich durch folgende Eigenschaften auszeichnet:

- breit gefächertes Profilsortiment, das mehrere Baureihen mit unterschiedlichen geometrischen Eigenschaften umfasst, sodass für jedes Bauvorhaben das technisch und wirtschaftlich optimale Profil ausgewählt werden kann.
- hoher Korrosionsschutz, da an den kritischen Stellen eine maximierte Materialstärke vorhanden ist.
- die Vereinigung von großer Bauhöhe und Flanschstärke ergibt ausgezeichnete statische Eigenschaften

Für die Auswahl eines geeigneten U-Profils wurde grob eine Biegebeanspruchung durchgeführt:

$$f = \frac{1}{48} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_y}$$

mit: f = Durchbiegung

E = Elastizitätsmodul in $[\text{N/mm}^2]$

I_y = Flächenträgheitsmoment um die y-Achse in $[\text{mm}^4]$

F = Einzellast in $[\text{N}]$

l = Balkenlänge in $[\text{mm}]$

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

Die Durchbiegung wird vereinfacht an dem Beispiel eines U-Profils U 120 nach DIN 1026-1 durchgeführt:

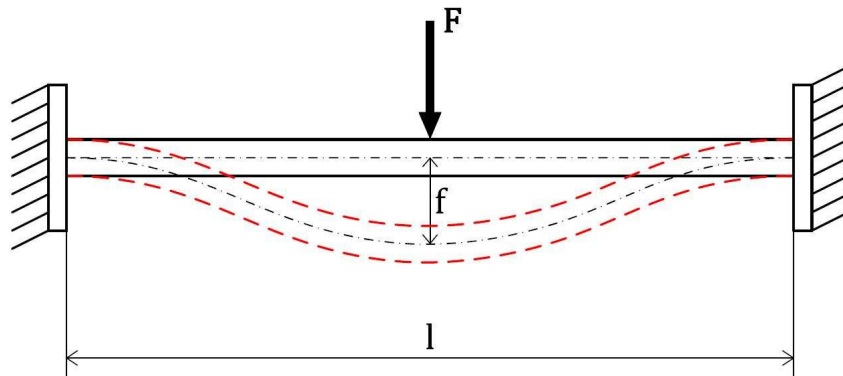


Abbildung 5.4 Durchbiegen eines beidseitig fest eingespannten Balkens mit mittlerer Belastung „F“

Die Einzellast „F“ berechnet sich aus:

$$F = m \cdot g$$

mit: m = Masse der Wirbelstrombremse + Masse des Motors mit Gestell

$$= 168 \text{ [kg]} + 150 \text{ [kg]} = 318 \text{ [kg]}$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} \quad \text{Gravitationsbeschleunigung}$$

$$F = 318 \text{ [kg]} \cdot 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \approx 3120 \text{ [N]}$$

Gegeben: $E = 206\,000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ für Baustahl nach EN 10025

$I_y = 3\,640\,000 \text{ [mm}^4\text{]}$ für das U-Profil

$$F = 3120 \text{ [N]}$$

$l = 985 \text{ [mm]}$ Ländge des U-Profils

$$f = \frac{1}{48} \cdot \frac{3120 \text{ [N]} \cdot (985 \text{ [mm]})^3}{206 \cdot 10^3 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \cdot 364 \cdot 10^4 \text{ [mm}^4\text{]}} = 0,0828 \text{ [mm]}$$

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

Die Durchbiegung, mit $f = 0,0828 \text{ mm}$, ist sehr gering und bietet eine ausreichende Sicherheit für die Tragfähigkeit der Profile. Dementsprechend fällt die Wahl auf das U-Profil U 120 nach DIN 1026-1.

Die U-Profile wird bei Wacker & Anders Schlosserei und Metallbau e.K. bestellt, die auch die Zuschneidung der Profile auf eine Länge von $l = 985 \text{ mm}$ durchführen. Es werden technische Zeichnungen erstellt (siehe Anhang). Nach diesen technischen Zeichnungen werden die Profile an der Fräsmaschine, vom fachkundigen Personal, in der zentralen Laborwerkstadt der HAW-Hamburg bearbeitet und gefertigt. Die *Abbildung 5.5* zeigt eins der drei bearbeiteten U-Profile, das für die Montage des Motors und der Leistungsbremse angefertigt wird. Hierbei handelt es sich um die Unterkonstruktion, die sich beide Komponenten teilen müssen. Das U-Profil ist unter der Schnittstelle zwischen Motor und Leistungsbremse positioniert.

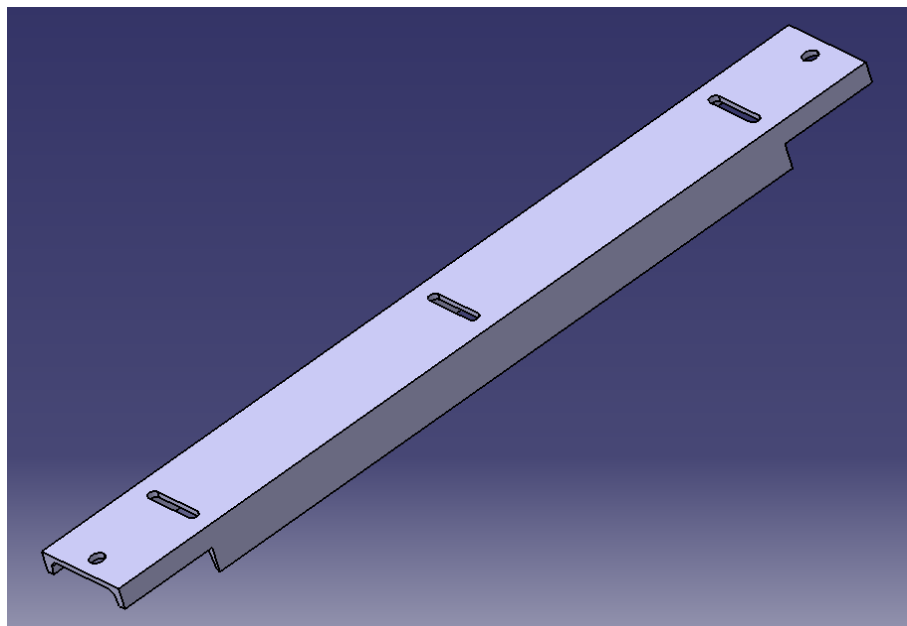


Abbildung 5.5 U-Profil als 3d-Modell

Für die Anbringung der U-Profile an die Doppel-T Träger, sind M16 Schrauben notwendig. Es werden M16 Schrauben aus dem Inventar der HAW-Hamburg verwendet. Bei den zur Verfügung stehenden Schrauben handelt es sich um DIN 931 Sechskantschrauben mit Schaft (M 16 x 100). Da der Schaft für die Befestigung der U-Profile sich als störend erweist, wird versucht, ein durchgehendes Gewinde zu schneiden. Jedoch war eine Bearbeitung, aufgrund der hohen Festigkeit der

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

Stahlschrauben (Festigkeitsklasse 8,8), mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht möglich. Um die Schaftlänge von $h = 30 \text{ mm}$ zu kompensieren, werden Distanzbuchsen mit mindestens der Höhe, die der Schaftlänge der Schraube entspricht, gefertigt. Für die Distanzbuchsen wird ein Stahlrohr mit einem Innendurchmesser $d_i = 19 \text{ mm}$ und einem Außendurchmesser $d_a = 25 \text{ mm}$ gewählt. Daraus ergibt sich eine Anpressfläche von $A_p = 207 \text{ mm}^2$.

$$A_p = \frac{\pi \cdot (d_a^2 - d_i^2)}{4} = \frac{\pi \cdot \{(25 [\text{mm}])^2 - (19 [\text{mm}])^2\}}{4} \\ = 207 [\text{mm}^2]$$

Insgesamt werden 10 Distanzbuchsen angefertigt. Dazu wird das Stahlrohr zugeschnitten und an einer Drehmaschine auf Mass gebracht. Die Höhe der Distanzbuchsen wird mit $h_D = 30 \text{ mm}$ festgelegt. *Abbildung 5.6* zeigt die Schraubverbindung der U-Profile mit der Plattform.

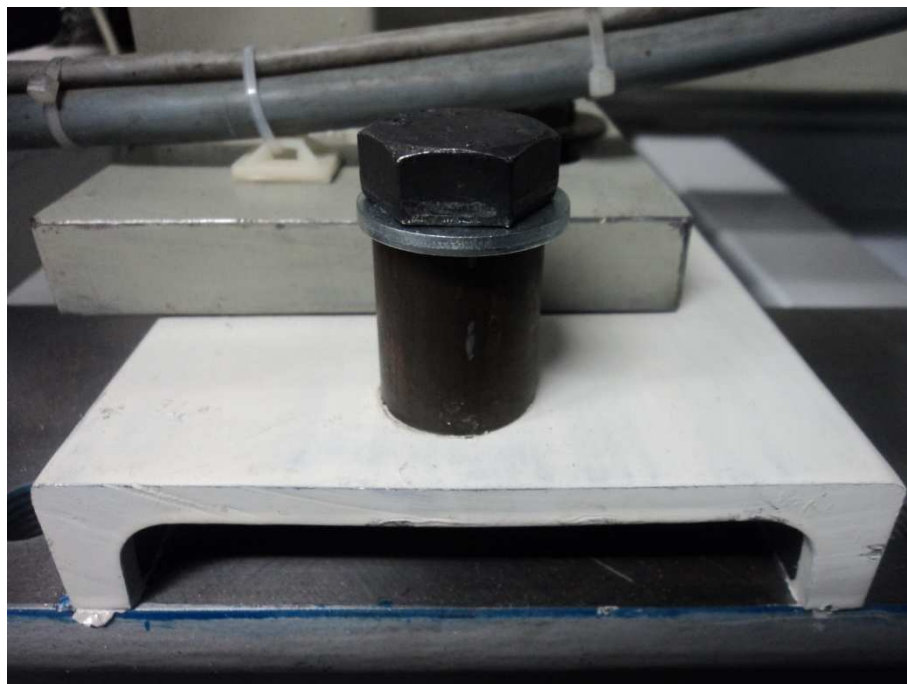


Abbildung 5.6 Schraubverbindung der U-Profile mit der Plattform

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

Um die Prüfstandskomponenten in die Motor-Box zu Hieven steht ein in der Box integrierter Kettenzug zur Verfügung (siehe *Abbildung 5.7*), der eine max. Last von 500 kg tragen kann. So konnten die Komponenten problemlos in die Motor-Box gebracht und mit den U-Profilen verschraubt werden.



Abbildung 5.7 Kettenzug

Die Antriebswelle des Verbrennungsmotors ist mit der Bremswelle der Wirbelstrombremse über eine Kardanwelle gekoppelt. Die Kardanwelle ist eine klassische Ausführung einer Gelenkwellenkombination mit zwei Kreuzgelenken und ermöglicht die Drehmomentübertragung in einem geknickten Wellenstrang.



Abbildung 5.8 Verzahnung, Kreuzgelenk und Flansch der Kardanwelle

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

Die Kardanwelle besteht aus drei Teilen, zum einen aus zwei Anschlussflanschen sowie aus den Verbindungen der beiden Kreuzgelenke. Die zwei benachbarten Kreuzgelenke sind um 90° verdreht mit der mittleren Welle verbunden. Bei der Montage ist zu beachten, dass die Drehachsen aller drei Wellenteile in einer Ebene liegen. Dieser Aufbau führt zur bekannten W- oder zur Z-Anordnung. Während die Z-Anordnung (parallele Drehachsen an An- und Abtrieb) üblicherweise in Fahrzeugen zur Kraftübertragung verwendet wird, findet sich die W-Anordnung gelegentlich in Lenksäulen.



Abbildung 5.9 Eingebaute Kardanwelle

Vor dem Einbau der Kardanwelle wird die Welle gereinigt und auf Beschädigung geprüft (insbesondere die Verzahnung). Des Weiteren werden die Gelenke auf Leichtgängigkeit, Spiel und Verschleiß begutachtet. Es ist keine Beschädigungen festzustellen und die Kardanwelle kann eingebaut werden. Vor dem Zusammenbau wird, so wie es in der Industrie üblich ist, die Verzahnung großzügig mit grafithaltigem Fett eingestrichen. Das eine Ende der Kardanwelle wird mit der Antriebswelle des Motors und das andere Ende mit der Bremswelle der Wirbelstrombremse mittels Flanschverbindung verschraubt.

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

Für die Kühlung des Motors stehen zwei Kühlsysteme zur Verfügung. Das Kühlwasser/Kühlflüssigkeits-Kühlsystem, bei dem es sich um das indirekte Kühlsystem handelt, wird die Wärmeabfuhr mit einem Plattenwärmetauscher verwirklicht. Der Plattenwärmetauscher ist auf der Plattform in der Motor-Box schon vorinstalliert. In „Abbildung 5.10“ ist der vorinstallierte Plattenwärmetauscher mit Unterkonstruktion abgebildet.

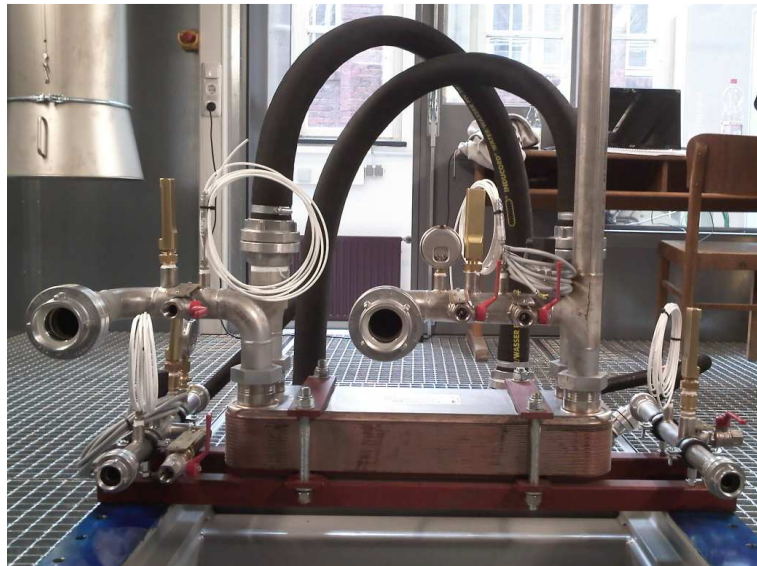


Abbildung 5.10 Plattenwärmetauscher mit Unterkonstruktion

Daher fällt bei diesem System die Lösungsfindung für die Montage auf der Plattform weg. In der *Tabelle 5.1* sind die technischen Daten des Plattenwärmetauschers aufgezählt.

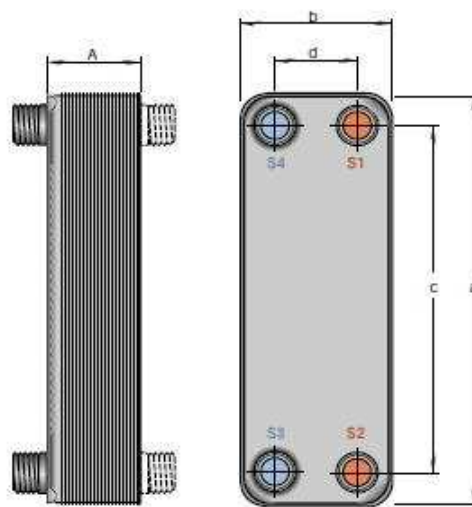


Abbildung 5.11 Abmaße des Plattenwärmetauschers

Tabelle 5.1 Technische Daten des Plattenwärmetauschers (aus [8])

BHE Daten & Dimension CB76	
max./min. Betriebstemperatur [°C]	225/-160
max. Arbeitsdruck S3-S4/S1-S2 [bar]	30/30
max. Durchflussrate [m ³ /h]	39
Höhe „a“ [mm]	617
Breite „b“ [mm]	192
Vertikale Verbindungsdistanz „c“ [mm]	519
Horizontale Verbindungsdistanz „d“ [mm]	92
Höhe „A“ [mm]	$(n \cdot 2,85) + 10$
Leergewicht [kg]	$(n \cdot 0,44) + 7$
Standart Verbindung [inch]	2"
Platenmaterial	AISI 316
Verbindungsmaterial	AISI 316
Lötmaterial	Kupfer
n = Plattenanzahl	

Das zweite Kühlsystem ist ein Kühlwasser/Öl-Kühlsystem, das direkte Kühlsystem. Hier wird das Öl des Motors angezapft und in einem Rohrbündelwärmetauscher wird so viel Wärme abgeführt, dass eine Öltemperatur von $T = 90 \text{ °C}$ (Betriebstemperatur) nicht überschritten wird. Dieses Kühlsystem soll die Kühlung des Motors kompensieren, die durch den Fahrtwind und eventuell durch eingebaute axiale Gebläse unterstützt wird. Das Gebläse schaltet sich ein, wenn der Fahrtwind für die Kühlung nicht ausreicht. Für das Anbringen des Rohrbündelwärmetauschers an der Plattform wird ein weiteres U-Profil verwendet. Der Rohrbündelwärmetauscher ist unter dem Versuchsmotor installiert und mit Schellen an das U-Profil befestigt (siehe *Abbildung 5.12*).



Abbildung 5.12 Rohrbündelwärmetauscher

Der Rohrbündelwärmetauscher ist schon sehr lange im Besitz der Haw-Hamburg, so dass keine technischen Daten zu finden sind und die Recherche im Internet hat ebenfalls zu keinem Erfolg geführt.

5.2 Verlegung der starren und flexiblen Rohrleitungen

Für die Kühlung des Verbrennungsmotors und der Wirbelstrombremse sind Leitungen verlegt.

Abbildung 5.13 stellt schematisch den Verbrennungsmotorprüfstand mit den Kühlkreisläufen dar.

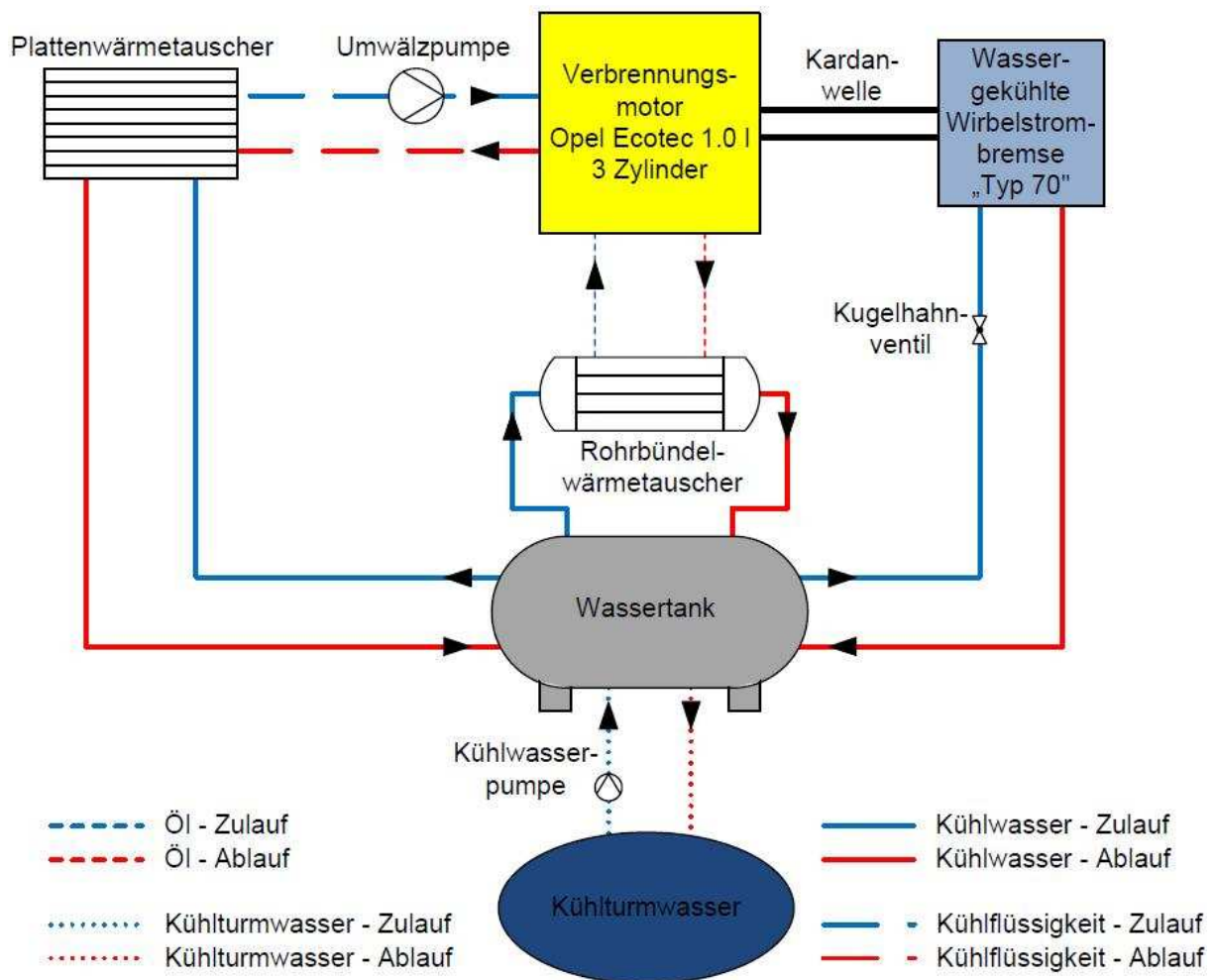


Abbildung 5.13 Verbrennungsmotorprüfstand mit Kühlkreisläufen

Es werden drei Kühlmedien verwendet. Die Kühlung der Wirbelstrombremse besteht aus einem Kühlkreislauf und wird mit Kühlwasser bewerkstelligt. Die Kühlung der Wärmetauscher besteht aus zwei Kühlkreisläufen. Man unterscheidet zwischen dem primären- und sekundären Kreislauf. Bei beiden Wärmetauschern wird im primären Kreislauf als Kühlmedium Kühlwasser genutzt. Im sekundären Kreislauf des Plattenwärmetauschers wird als Kühlmedium Kühlflüssigkeit benutzt. Die Kühlflüssigkeit

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

setzt sich zu 50% aus Wasser und zu 50% aus Frostschutzmittel mit Inhibitoren zum Korrosionsschutz zusammen. Das Kühlmittel im sekundären Kreislauf des Rohrbündelwärmetauschers besteht aus dem Öl des Verbrennungsmotors.

Das Kühlwasser wird aus einem Wassertank, der sich unter der Maschinenhalle befindet, gepumpt und nach dem Wärmeaustausch wieder in diesen eingespeist. Sollte die Temperatur des Kühlwassers einen kritischen Wert übersteigen, kann die Temperatur durch Zugabe von Kühlturmwater runterkorrigiert werden. Jenes lässt sich mittels Einschalten der Kühlwasserpumpe durchführen.



Abbildung 5.14 Kugelhahnventil

Das Kugelhahnventil, welches in der Zulaufleitung des Kühlwassers, für die Wirbelstrombremse, verbaut ist, bietet die Möglichkeit den Kühlwassermassenstrom manuell einzustellen. In *Abbildung 5.14* ist das Kugelhahnventil dargestellt.

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

Der Wasserabfluss unter dem Gitterrost besteht aus starren Leitungen. Hierbei handelt es sich um ein „LORO“ Rohrstecksystem, und zwar ist dafür das LORO-X Stahlabflussrohr DN 70 nach DIN EN 1123 verbaut. Es ist feuerverzinkt und zusätzlich innen beschichtet und bietet somit einen optimalen Korrosionsschutz. Wesentliches Kennzeichen ist die LORO-X Zweistufenmuffe mit Spezial-Dichtelementen zum problemlosen Zusammenstecken der Rohre, das eine einfache Verlegung ermöglicht. Die *Abbildung 5.15* zeigt ein gerades Rohrstück mit dazugehörigem Dichtelement der Firma „LORO“.



Abbildung 5.15 LORO-X Stahlabflussrohr und Dichtelement

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

Im Folgendem wird gezieht auf die einzelnen Kühlkreisläufe eingegangen und auf die an ihnen zu verrichtenden Arbeiten.

In *Abbildung 5.16* wird der Kreislauf der wassergekühlten Wirbelstrombremse (Leistungsbremse) gezeigt:

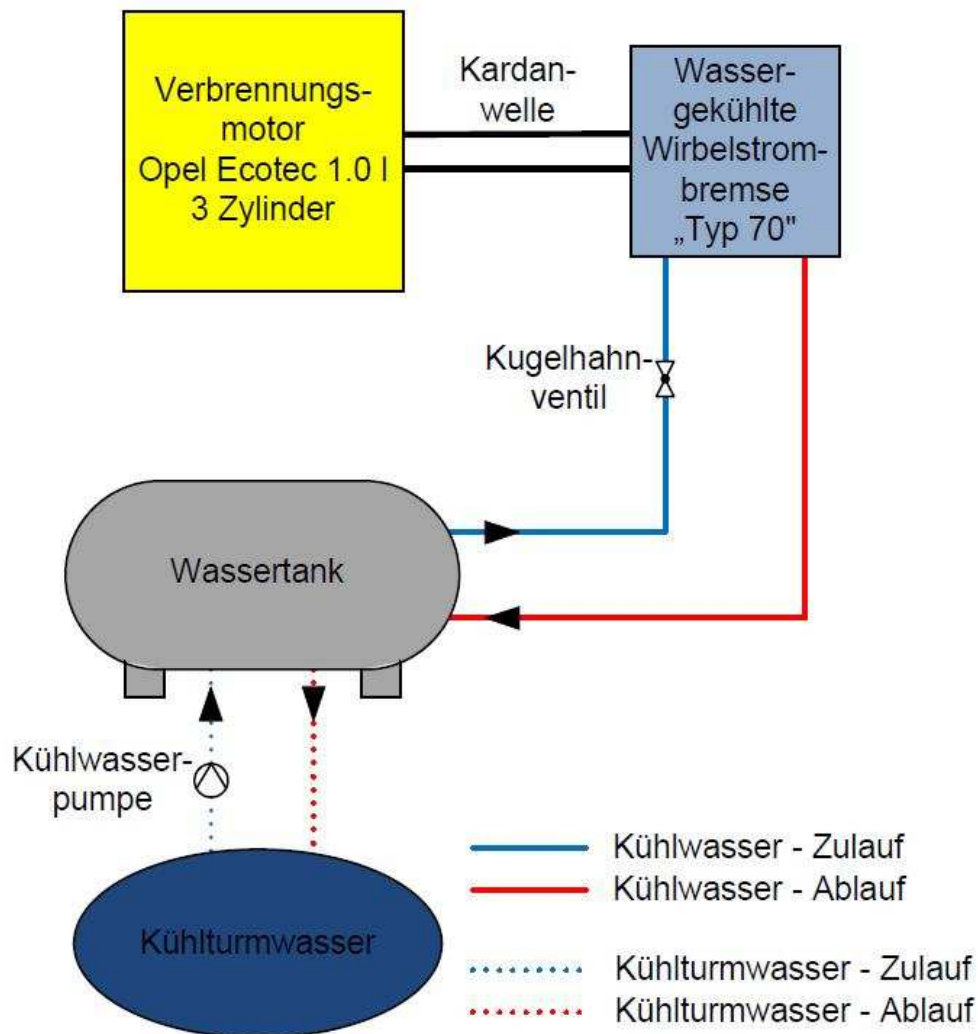


Abbildung 5.16 Kühlkreislauf der Wirbelstrombremse

Die Leistungsbremse hat die Aufgabe den Motor in einem definierten Betriebspunkt (Drehzahl und Moment) zu halten. Um dies zu verwirklichen muss die Drehzahl und das Moment gemessen werden. Die Drehmoment- und Drehzahlmessung wird in *Kapitel 6* ausführlich beschrieben. Die *Abbildung 5.17* zeigt das Datenschild der Leistungsbremse



Abbildung 5.17 Datenschild Wirbelstrombremse

Um den Verbrennungsmotor in einem definierten Betriebspunkt zu halten, steht eine wassergekühlte Wirbelstrombremse der Firma „SCHENCK“ zur Verfügung. Bei der Wirbelstrombremse handelt es sich um die „W 70“, diese Typenbezeichnung steht für die maximale Bremsleistung der Wirbelstrombremse. Dieses Model kann dementsprechend eine maximale Leistung von $P = 70 \text{ kW}$ abbremsen. Die technischen Daten sind in der *Tabelle 5.2* aufgezählt.

Tabelle 5.2 Technische Daten der Wirbelstrombremse

Technische Daten der Wirbelstrombremse W 70	
Nenndrehmoment	150 Nm
Max. Drehzahl	13000 1/min
Nennleistung	70 KW
Max. anteilige Kupplungsmasse bei $n_{\max}$	1,0 kg
Massenträgheitsmoment	0,035 kg m ²
Gewicht	168 kg

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

Ein Teil der Motorleistung geht in der Leistungsbremse in Form von Wärme verloren. Diese Wärmeenergie muss für einen effizienten Betrieb und um Schäden an der Leistungsbremse zu vermeiden, abgeführt werden.



Abbildung 5.18 Zulauf und Ablauf Wirbelstrombremse

Die Kühlwasserzufuhr und –abfuhr teilt sich in zwei Bereiche. In den Bereich unter dem Gitterrost, der aus starren Leitungen bestehen sollte. Die Abfuhr des Kühlwassers wird auch starr gehalten, und zwar mit den schon oben erwähnten LORO Rohrstecksystem. Die Zufuhr sollte zunächst aus einem Stahlrohr bestehen, wurde aber nach reichlicher Überlegung widerrufen und es wird ein flexibler Kühlschlauch verwendet. Aufgrund dieser Lösung sind aufwendige Schweißarbeiten entfallen.

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

Um den Zulauf zu ermöglichen, wird eine Abzweigung in die Wasserzulaufleitung geschweißt (siehe *Abbildung 5.19*).



Abbildung 5.19 Abzweigung Wasserzulauf

Auf der Höhe des Gitterrostes befindet sich eine Schnittstelle mit einem Kugelhahnventil, die an der Prüfstandplattform befestigt ist. Um diese Schnittstelle zu ermöglichen, wird der Gitterrost freigeschnitten (siehe *Abbildung 5.20*). Die Wirbelstrombremse ist durch flexible Kühlschläuche mit der Schnittstelle verbunden.



Abbildung 5.20 Schnittstelle

Kühlkreisläufe der Wärmetauscher

Die Kühlwasserzufuhr und –abfuhr für die Wärmetauscher unter dem Gitterrost sind von der Firma MBW Industrietechnik Service GmbH erstellt. Der Kühlwasserkreislauf für den Plattenwärmetauscher besteht, sodass nur Arbeiten am Kühlflüssigkeitskreislauf anfallen. Bei dem Rohrbündelwärmetauscher ist, die Leitung für den Kühlwasserkreislauf nur bis zur Unterkonstruktion des Plattenwärmetauschers verlegt, sodass der Kühlwasserkreislauf vollendet und der Ölkreislauf zu erstellen ist. Die Enden der Kühlschläuche sind mit Schlauchnippel und Schellen mit den Komponenten verbunden. Die Fertigung der Schlauchnippel findet an der Drehmaschine statt (*siehe Abbildung 5.21*).



Abbildung 5.21 Schlauchnippel

In *Abbildung 5.22* ist, beispielhaft am Rohrbündelwärmetauscher, der Einsatz der Schlauchnippel dargestellt.



Abbildung 5.22 Schlauchnippel am Rohrbündelwärmetauscher

Plattenwärmetauscher

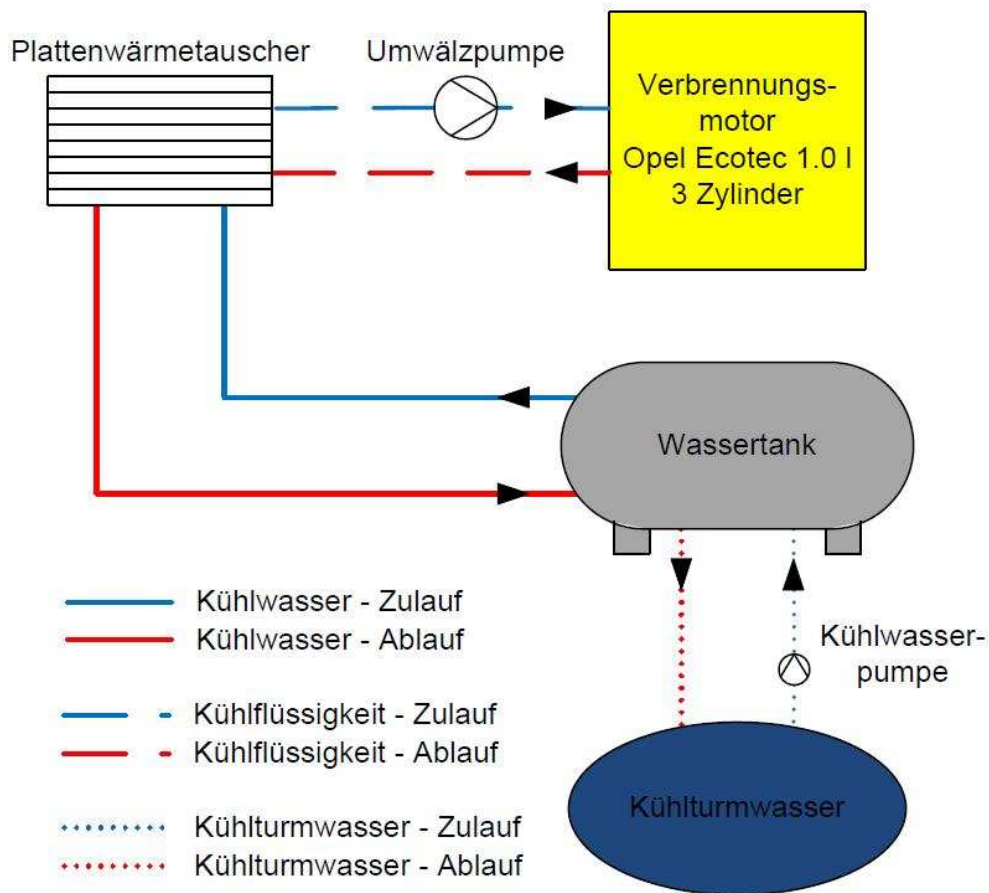


Abbildung 5.23 Kühlkreisläufe des Plattenwärmetauschers

Im Zulauf des Kühlflüssigkeitskreislaufs befindet sich eine Umwälzpumpe, die zwei Aufgaben hat. Einerseits soll sie die geringe Pumpleistung der internen Pumpe des Verbrennungsmotors bei geringen Drehzahlen kompensieren. Andererseits soll sie die Kühlung des Verbrennungsmotors bei einem Notaus weiterhin bestehen lassen, um eventuelle Schäden zu vermeiden. Es handelt sich hierbei um eine GRUNGFOS Umwälzpumpe Typ GPS 15-45x20. Sie wird mit einem 220 V Wechselstrom gespeist und kann in drei Stufen betrieben werden. *Tabelle 5.3* stellt die drei Betriebsstufen dar.

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand

Tabelle 5.3 Betriebsstufen der Umwälzpumpe

	I [A]	P [W]	n [min ⁻¹]
1	0,20	45	1300
2	0,28	60	1700
3	0,36	80	2050

Direkt nach der Umwälzpumpe ist ein Volumenstrommesser eingebaut, das im oberen Schema nicht zu sehen ist. Dazu mehr in „*Kapitel 6*“. Die Umwälzpumpe und der Volumenstrommesser bilden eine starre Einheit. Sie sind durch Kupferleitungen, die durch ein Hartlötverfahren mit Silberlot (Lötmaterial) zusammengefügt sind, miteinander verbunden.

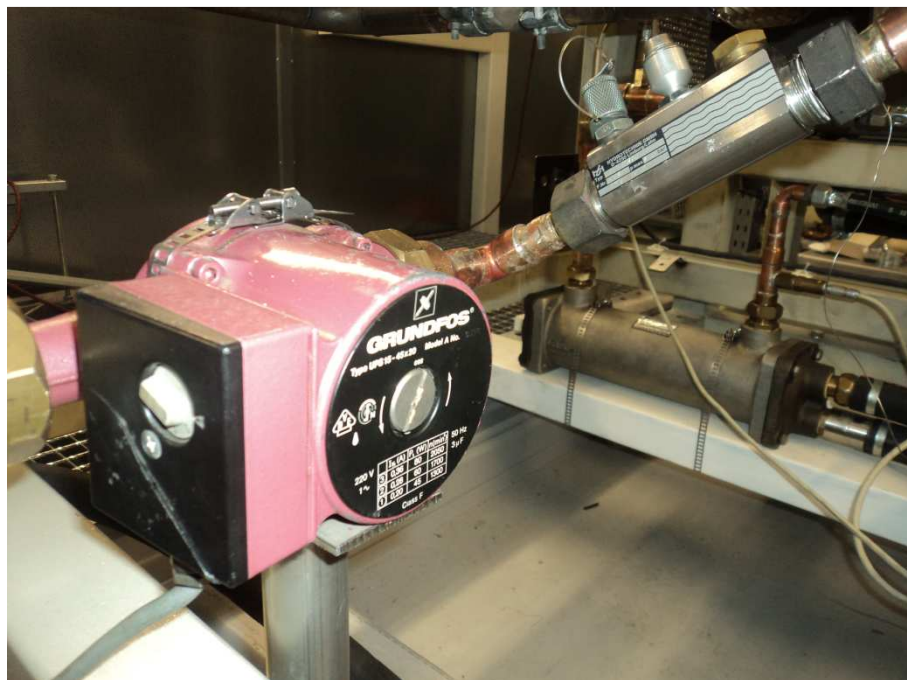


Abbildung 5.24 Umwälzpumpe und Volumenstrommesser

Mithilfe eines angefertigten Ständers wird die Pumpe auf die Höhe des Zulaufs des Plattenwärmetauschers gebracht und mit einem Kühlschlauch verbunden. Die Verbindung vom Volumenmesser zum Verbrennungsmotor und des Ablaufs wird ebenfalls mit Kühlschläuchen realisiert.

Rohrbündelwärmetauscher:

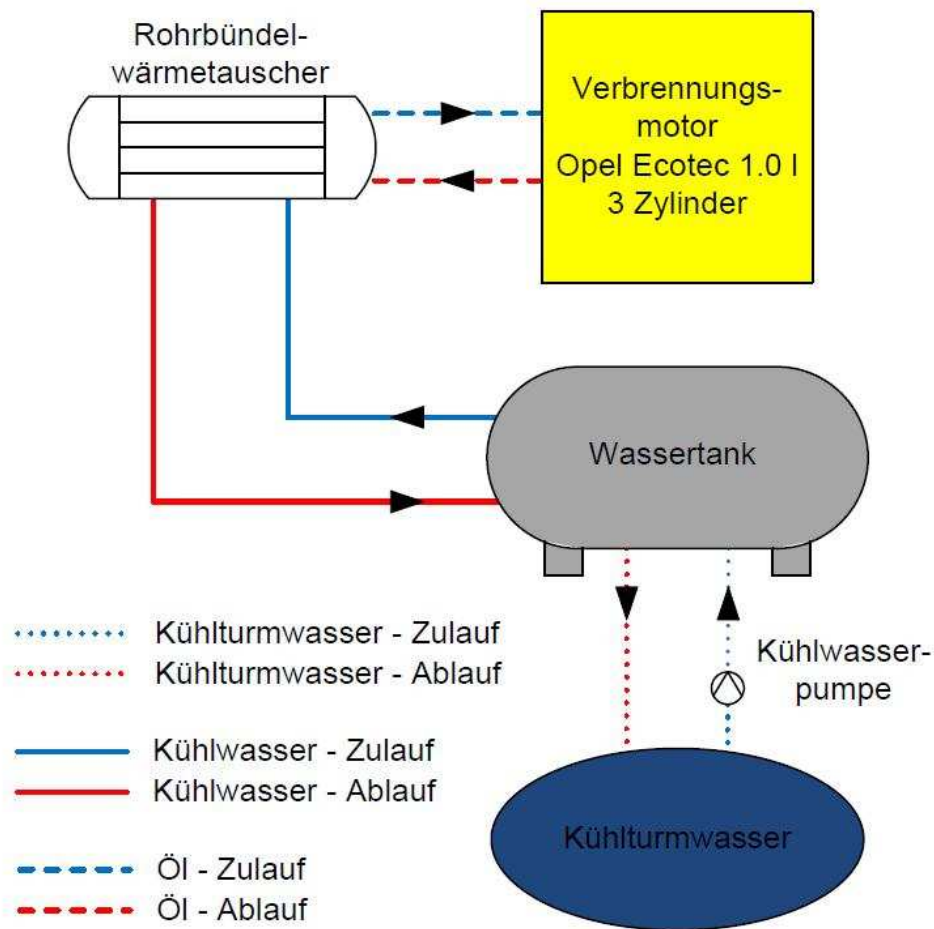


Abbildung 5.25 Kühlkreisläufe des Rohrbündelwärmetauschers

Wie schon erwähnt, ist der Kühlwasserkreislauf des Rohrbündelwärmetauschers nur bis zur Unterkonstruktion des Plattenwärmetauschers vorhanden. Die Schließung des Kreislaufes passiert durch Kühlschläuche. Über eine Innenzahnradpumpe wird der Ölkreislauf bewirkt. Da der Verbrennungsmotor üblicherweise kein von außen zugängliches Ölsystem besitzt, befindet sich eine Ölentnahme am Hautstrom. So kann das gesamte Öl durch den Rohrbündelwärmetauscher fließen und eine gleichmäßige Temperatur erreicht werden. Die Verbindung zwischen den Rohrbündelwärmetauscher und die Ölentnahme am Motor besteht zum Teil aus einer starren Kupferleitung, die Hartgelötet ist, und Ölschläuchen mit Nippelverbindungen (siehe Abbildung 5.26).

Anpassung der Motor-Box an den Prüfstand



Abbildung 5.26 Ölentnahme, Ölschläuche mit Nippelverbindungen und gelötete Kupferrohre

Im Zulauf befindet sich, wie beim sekundären Kreislauf des Plattenwärmetauschers, ebenfalls ein Volumenstrommesser.

Für die Lötarbeiten wird das Hartlötverfahren verwendet, genau genommen das Flammenlöten. Entscheidend für die Einteilung der Lötverfahren ist die Liquidustemperatur des Lotes. Hartlöten ist Löten mit Lötmaterial, deren Liquidustemperatur oberhalb 450°C liegt. Als Lötmaterial wird Silberlot verwendet. (aus [7])

Das Verlegen der Kraftstoffleitung wird in „Kapitel 6“ beschrieben. Da die Kraftstoffwaage für die Bestimmung des Verbrauchs mit eingebaut werden muss und jenes nicht in mein Aufgabengebiet fällt.

5.3 Installation der Abgasanlage

Die Abgasanlage besteht aus Komponenten der Opel-Corsa-Serie, die durch Edelstahlrohre miteinander verbunden sind. Überwiegend sind Edelstahlrohre mit einem Außendurchmesser von 40 [mm] und einer Materialstärke von 1,5 [mm] verbaut, die dem Originalrohr entspricht. So kann der Einfluss der Abgasanlage, in Bezug auf Motorleistung und Emission, dem eines Fahrzeugs aus der Serie sehr ähneln.

Vom Verbrennungsmotor aus gesehen bis zum Rauchgas-Abzug werden folgende Komponenten von den Abgasen durchströmt:

- Abgaskrümmern
- Entkoppel-Element 1
- Katalysator
- Entkoppel-Element 2
- Mittelschalldämpfer
- Nachschalldämpfer

Die *Abbildung 5.27* stellt den Aufbau des Abgassystems ohne Messsensoren schematisch dar. Auf die Messsensoren wird in *Kapitel 6* eingegangen.

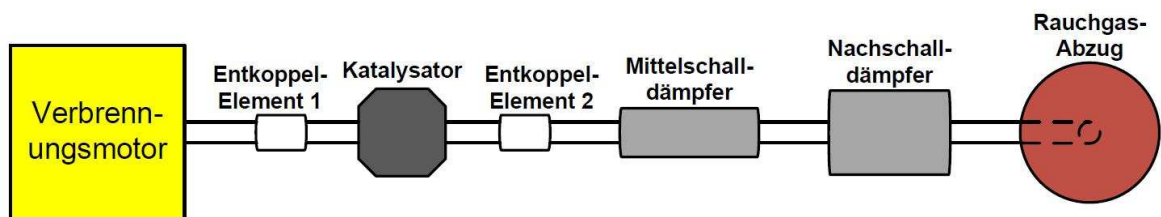


Abbildung 5.27: Aufbau des Abgassystems ohne Messsensoren

Die Abgasanlage ist bis zum Mittelschalldämpfer vorhanden, sodass ausschließlich der Nachschalldämpfer und die Edelstahlleitungen bis zum Rauchgas-Abzug installiert werden. Die Teile sind miteinander verschweißt. Für die Befestigung werden Halterungen angefertigt. Das Abgassystem ist durch elastische Aufhängungselemente befestigt.

6 Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen

In den folgenden Kapiteln wird auf alle Mess-Steuer- und Regeleinrichtungen, die im Opel Ecotec Prüfstand verbaut sind, eingegangen. Dabei werden die Kapitel Messeinrichtungen und Steuer- und Regeleinrichtungen separat behandelt. Es werden alle Komponenten beschrieben.

Bei den Messeinrichtungen wird jeweils auf das Messprinzip, die Messstellen und die Messanzeigen eingegangen.

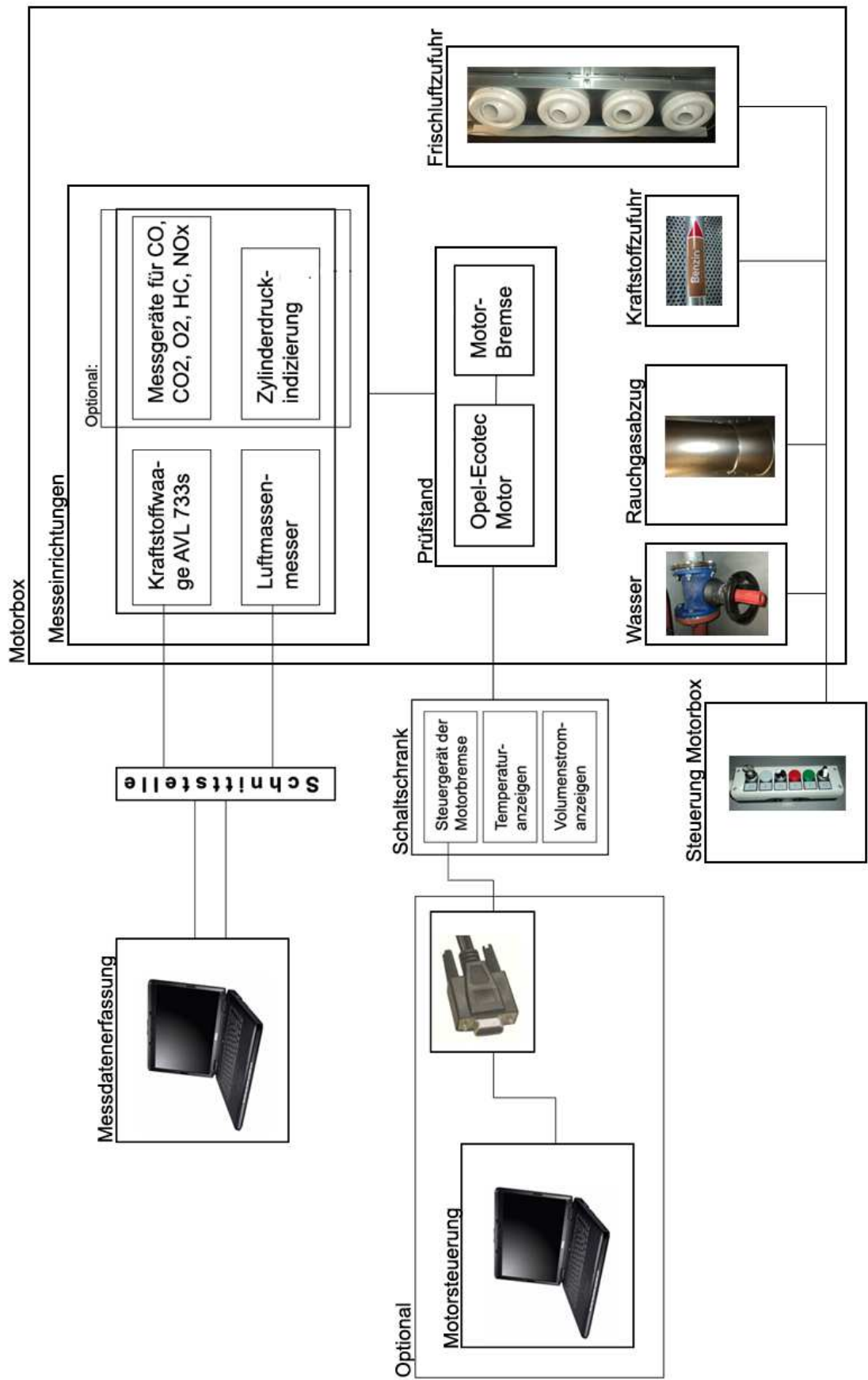
Alle Steuer- und Regeleinrichtungen werden, bis auf die Ansteuerung der Hubantriebe für Hubventile und der Einstellung der Leistungsstufe an der Umwälzpumpe, vom Steuergerät X-Act der Motorbremse aus bedient, sofern kein Computer an das X-Act Steuergerät angeschlossen ist und die Motorsteuerung übernimmt. An dieser Stelle sei angemerkt, dass ergänzend zu den hier aufgeführten Kapiteln, die Bedienungsanleitung der Geräte ebenfalls hilfreiche Informationen enthalten. Die Verwendung der Bedienungsanleitungen, bei der Bedienung der Geräte wird empfohlen.

Am Ende des Kapitels wird auf die Verkabelung aller Komponenten eingegangen. Hier wird unterschieden in der Verkabelung der Komponenten hinsichtlich der Steuer- und Stromleitungen.

Für die Durchführung der Arbeiten, und als Überblick, dient als erste Hilfestellung, eine Funktionsübersicht mit Beschreibung in Form eines Funktionsdiagramms.

Anmerkung: Für eine Inbetriebnahme sind nicht zwingend alle Messeinrichtungen notwendig..

6.1 Funktionsdiagramm



Beschreibung

Das Funktionsdiagramm dient als erste Hilfestellung bei dem Aufbau des Prüfstandes hinsichtlich aller Mess- Steuer- und Regeleinrichtungen.

Die Steuerung der Motorbox ist zuständig für das Ein- und Ausschalten der Frischluftventilatoren, des Rauchgasabzuges, der Öffnung der Ventile für die Kraftstoffzufuhr sowie die Versorgung der Kabine mit Kühlwasser. Für die Kraftzufuhr kann wahlweise Diesel oder Benzin ausgewählt werden. Der Opel Ecotec Prüfmotor benötigt Benzin.

Der Schaltschrank fasst das Steuer- und Simulationssystem der Firma Schenk und die Volumenstrom- und Temperaturanzeigen zusammen. Das Steuer- und Simulationssystem kann optional über einen RS232-Port erweitert werden, falls eine externe Motorsteuerung über einen Computer gewünscht ist.

Für die Messdatenerfassung ist ein Dell Inspiron 8000 Laptop, der mit einem Intel Pentium III Prozessor ausgestattet ist, vorgesehen. Er ist zum Zwecke der Datenaufnahme ausreichend. Über die RS232- Schnittstelle ist er mit der Kraftstoffwaage verbunden. Die optionalen Messgeräte sind hier beispielhaft mit eingezeichnet. Je nach Anwendungsfall kann der Prüfstand mit Messgeräten erweitert werden.

6.2 Messeinrichtungen

Der Prüfstand stellt mehrere Messeinrichtungen zur Verfügung. Einige Messeinrichtungen sind hierbei optional und einige fest installiert. Zu den fest installierten Messeinrichtungen gehören: vier Pt 100-Sensoren, zwei Thermoelemente vom Typ K, ein Dehnmessstreifen an der Kraftmessdose der Wirbelstrombremse, zur Bestimmung von Drehmomenten, eine dynamische Kraftstoffverbrauchsmesseinrichtung sowie Volumenstrommessgeräte für beide Kühlkreisläufe und eine Lambdasonde, die für die Regelung der Kraftstoffzufuhr erforderlich ist. Optional seien genannt ein Luftmassenmesser, Sauerstoffmessgerät, CO-CO₂-Messgerät, NO_x-Messgerät, HC-Messgerät sowie eine Zylinderdruckindizierung zur Bestimmung des Zylinderdrucks.

In den folgenden Kapiteln wird hauptsächlich auf die fest installierten Messgeräte eingegangen und die Luftmassenmessung.

Alle aufgeführten Messgeräte und deren Messprinzipien werden beschrieben. Eine Zusammenstellung aller Messstellen findet sich im *Kapitel 4.2.8*.

6.2.1 Temperaturmessungen

Ohne Temperaturmessungen sind wärmetechnische Berechnungen nicht möglich. Sie bilden ein zentrales Element für die Wärmebilanzierung. Für den Opel Ecotec Prüfstand sind zwei Thermoelemente vom Typ K und vier Pt100-Sensoren vorgesehen.

Pt100-Sensoren

Pt100-Sensoren sind Temperaturfühler. Bei Temperatureinfluss findet eine Widerstandsänderung von Platin statt. Pt100-Sensoren basieren auf diesem Prinzip. Sie werden eingesetzt in Temperaturbereichen von -200 °C bis 650 °C. Jeder Sensor besitzt eine eindeutige Widerstandskennlinie.

Der Pt100 Sensor wird durch seine Charakteristik bei einer Temperatur von 0 °C bezeichnet, bei der dieser einen Nennwiderstand von 100 Ohm besitzt ($R_0 = 100 \text{ Ohm}$). Diese Widerstandsänderung ist in DIN IEC 60751 festgelegt. (Aus [9])

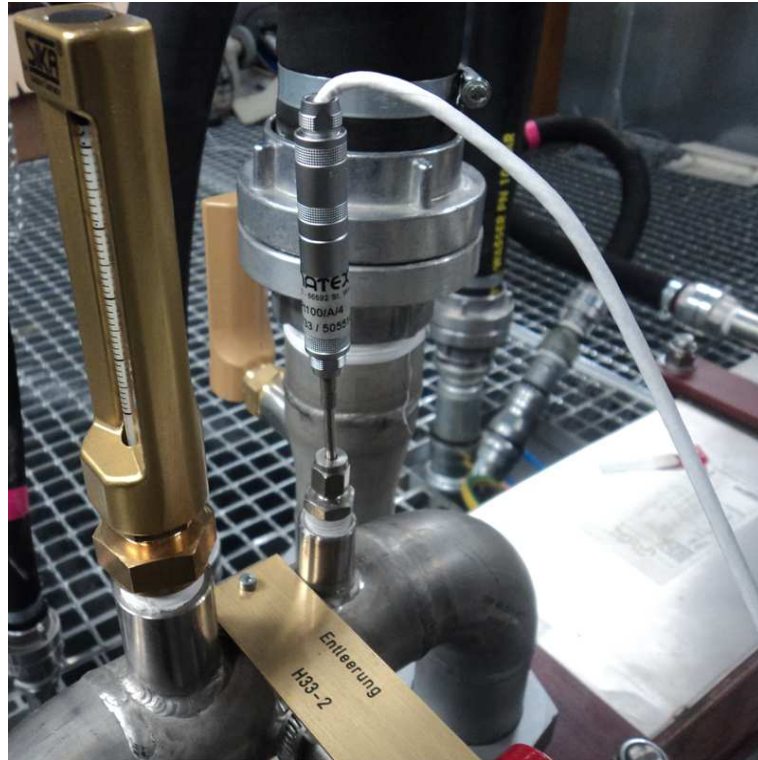


Abbildung 6.1: Pt100 Temperaturfühler am Plattenwärmetauscher

Thermoelement Typ K

Berühren sich zwei unterschiedliche Metalle, dann entsteht an der Berührungsstelle eine kleine Spannung, deren Größe temperaturabhängig ist - die Thermospannung. Deren Größe hängt außer von der Temperatur natürlich auch von den beiden Metallsorten ab. Diesen Effekt benutzt man, um Thermo-Elemente herzustellen. Je nach Metallkombination gibt es unterschiedliche Thermoelement-Typen. (Aus [10])

Bei den am Katalysator im Opel Ecotec Prüfstand verbauten handelt es sich um ein Thermoelement vom Typ K.

Er besteht aus einem Nickel/Chrom-Draht und einem Nickel/Aluminium-Draht. Aufgrund der hohen Materialbeständigkeit gegenüber hohen Temperatureinwirkungen können Messwerte bis zu 1000°C gemessen werden. Für nähere Informationen sei auf EN 60584 hingewiesen.

Temperaturmessstellen

Die Pt100-Sensoren befinden sich am Wasservor- und Rücklauf und am Ölein- und Austritt des Rohrbündelwärmetauschers. Am Katalysator befinden sich zwei Thermoelemente vom Typ K. Diese sind vor und nach dem Katalysator geschaltet.

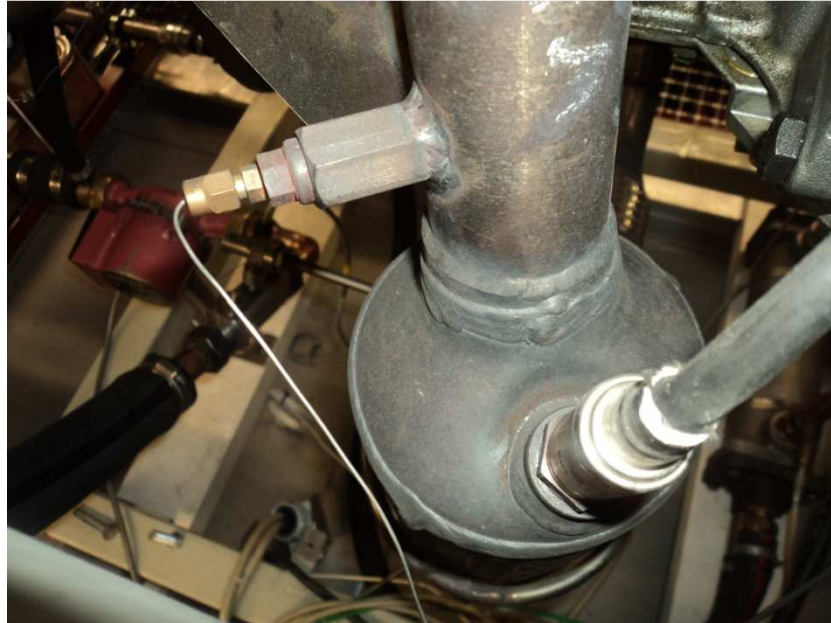


Abbildung 6.2: Thermoelement vom Typ K am Katalysator

Temperaturmessanzeigen

Sowohl für Temperaturmessungen am Katalysator und an den Kühlkreisläufen werden Panelmeter Anzeigen der Fa. Digitec verwendet. Diese sind im Schaltschrank zusammengefasst. Für ergänzende Informationen sei auf die Bedienungsanleitung der Geräte hingewiesen.



Abbildung 6.3: Panelmeter Anzeigen im Schaltschrank

6.2.2 Volumenstrommessung

Im Prüfstand finden Messungen des Volumenstroms an beiden Kühlkreisläufen statt. Der Motorkühlflüssigkeitskreislauf besitzt ein Volumenstrommessgerät und der Ölkühlkreislauf. Die Volumenstrommessung erfolgt auf Basis eines Durchflusssensors (Turbinen-Durchflussmesser).



Abbildung 6.4: Volumenstrommessgerät Motorkühlflüssigkeitskreislauf

Turbinen-Durchflussmesser

Es gibt verschiedene Arten von Durchflusssensoren. Bei dem im Prüfstand installierten handelt es sich um einen so genannten mittelbaren Volumenzähler, im speziellen ein Turbinen-Durchflussmesser. Das Messprinzip dieser Turbinen-Durchflussmesser läuft folgendermaßen ab:

Ein Messmedium durchströmt den Turbinen-Durchflussmesser in axialer Richtung und versetzt dabei das Turbinenrad in Drehung. Entsprechende Aufnehmer in den Turbinen-Durchflussmessern erfassen die Drehzahl des Rades, die proportional zur mittleren Strömungsgeschwindigkeit ist.

Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen

Als Ausgangssignal liefern die Aufnehmer eine alternierende Spannung mit einer Frequenz (zum Beispiel: Impulse pro Liter), die proportional zum momentanen Durchfluss stehen. Nach Verstärkung und Umformung der Spannung stehen für die Auswertung Rechteckimpulse zur Verfügung. (Aus [11])

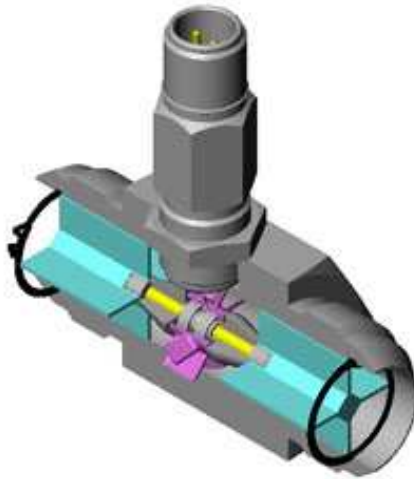


Abbildung 6.5: Turbinen-Durchflussmesser ([12])

Volumenstrommessstellen

An jedem der beiden Kühlkreisläufe (Ölkreislauf, Kühlmittelkreislauf) befinden sich Messstellen für die Volumenstrommessung. Direkt nach der Umwälzpumpe findet sich das Volumenstrommessgerät für den Kühlmittelkreislauf. Beim Ölkreislauf findet sich das Messgerät am Ölzulauf des Rohrbündelwärmetauschers.

Volumenstrommessanzeigen

Der Prüfstand bietet für jedes der beiden Volumenstrommessgeräte eine Volumenstromanzeige. Ein Netzteil, das sich im Schaltschrank befindet, versorgt beide Geräte mit Strom. Die Geräte bieten Schalter für „Eichen“, „Messen“ und „Aus“.



Abbildung 6.6: Volumenstromanzeige Unicontrol

6.2.3 Drehmomentmessung

Das Drehmoment wird ausgehend von der Wirbelstrombremse gemessen. Dazu bietet uns die Wirbelstrombremse einen Kraftaufnehmer. Mithilfe einer Drehmomentmesswelle wird schlussendlich eine mechanische Leistung bestimmt. Die Messung des Drehmoments wird hier mithilfe von Dehnungsmessstreifen durchgeführt.

Besonders für Motorenprüfstände sind diese Möglichkeiten interessant. Da hiermit Motormomente, Schleppmomente und dynamische Verbrennungsvorgänge gemessen werden können.

Dehnungsmessstreifen (DMS)

Der elektrische Widerstand jedes Leiters verändert sich bei Deformation. Die Ursache der Deformation kann eine Kraft, Druck, Drehmoment, Auslenkung, Drehwinkel usw. sein. Der Widerstand eines deformierten DMS setzt sich aus

seinem Grundwiderstand R (unbelastet) und die durch die Deformation verursachte Widerstandsänderung ΔR zusammen.

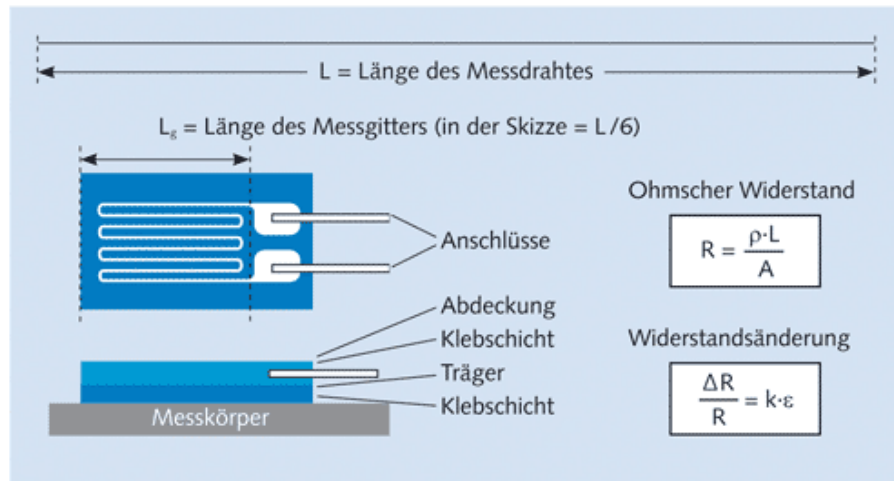


Abbildung 6.7: DMS-Prinzip ([13])

Drehmomentmessstelle

Gemessen wird ausgehend von der Kraftmessdose, die sich an der Außenseite der Wirbelstrombremse befindet. Die Messdaten werden an das X-Act Steuergerät gesendet.

Drehmomentanzeige

Für die Anzeige des Drehmoments ist das Steuergerät, dass zum X-Act Steuer- und Simulationssystem von der Firma Schenck gehört, zuständig. Auf dem Panel lässt sich bei ordnungsgemäßem Aufbau und Inbetriebnahme des Prüfstandes das Drehmoment, die Drehzahl und die Fahrhebelstellung ablesen.

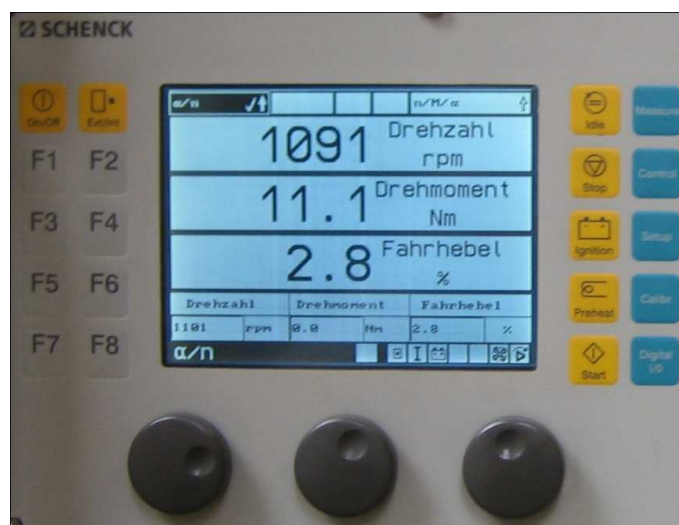


Abbildung 6.8: Messanzeige Drehmoment

6.2.4 Kraftstoffverbrauchsmessung

Die Kraftstoffverbrauchsmessung wird über eine AVL 733S Kraftstoffwaage vorgenommen, die mit dem Laptop zur Messdatenerfassung mit einem RS232 –Port verbunden ist. Wie die Kraftstoffwaage an den Prüfstand und die Kraftstoffzufuhrleitung der Motorbox angeschlossen ist, zeigt der Anschlussplan in der folgenden Abbildung.

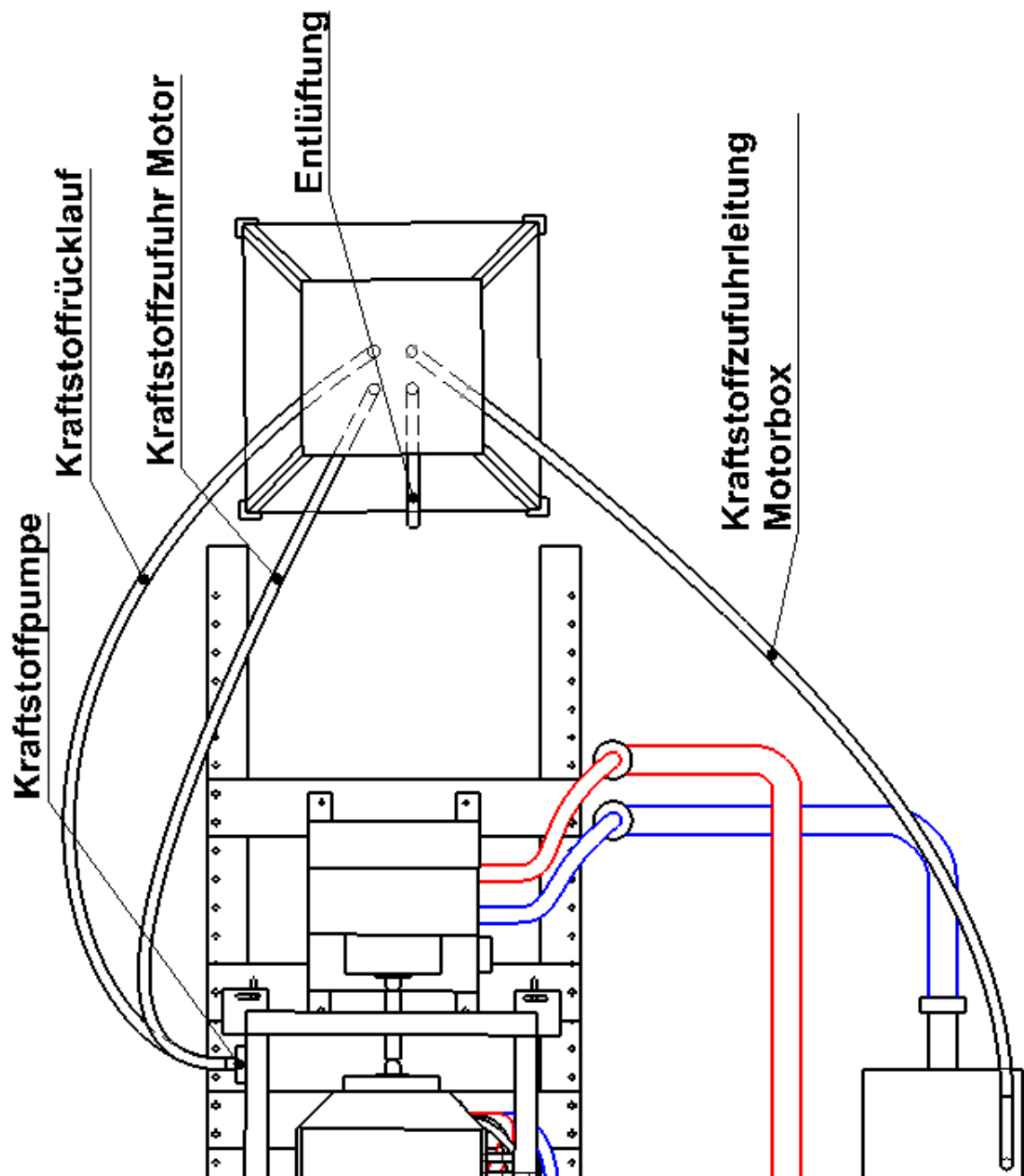


Abbildung 6.9: Anschlussplan der AVL733s Kraftstoffwaage

Kapazitives Messprinzip

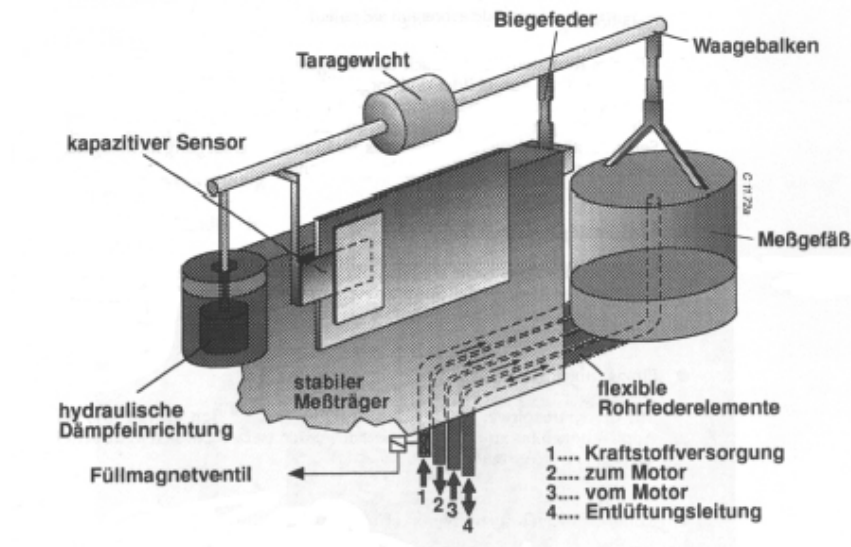


Abbildung 6.10: Kapazitives Messprinzip ([14])

„Eine grundsätzliche Neuentwicklung stellt der „oberflächen-mikromechanische“ Drucksensor dar. Hierbei werden mit Standard-Halbleitersensoren (BiCMOS) die Druckzelle sowie die zugehörige Auswerteelektronik auf einen Chip hergestellt. Hierdurch entfällt die Verbindung mittels Bonddrähten zwischen Drucksensorzelle und Auswerteelektronik. Die Bestimmung des Druckes erfolgt durch spezielle kondensatorähnliche ausgebildete Druckzellen. Der einwirkende Druck ändert den Abstand der beiden Kondensatorflächen und führt zu einer Änderung der Kapazität. Diese Kapazitätsänderung wird in eine analoge Ausgangsspannung transformiert.“ ([1], S.764)

Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen

Kraftstoffverbrauchsanzeige

Für die Kraftstoffverbrauchsanzeige steht ein Laptop mit entsprechender Software aus dem Inventar der Hochschule für angewandte Wissenschaften zur Verfügung. Das installierte Betriebssystem (Windows 2000 NT) auf diesem Laptop ist mit Fehlern behaftet. Der Rechner fährt somit unter dieser Konfiguration nicht hoch.

Um dennoch den Laptop für die Kraftstoffverbrauchsanzeige zu verwenden, ist ein neues Betriebssystem (Windows XP) installiert.

Das Programm zur Ansteuerung der AVL 733s Kraftstoffwaage heißt KSW.exe.

Um die zuvor auf dem alten Betriebssystem installierte Software kompatibel zu machen, sind einige Änderungen in den Windows-Systemdateien vorgenommen.



Abbildung 6.11: Programmoberfläche AVL 733S

Für ein kompatibles Programm sind in der alten „win.ini“-Datei des Windows 2000 NT-Betriebssystems, die sich in „C:\WINNT“ finden lässt, die Zeilen:

[cvirt4]

cvirt4=C:\CVIRT4\cvirt4.exe

Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen

in die „win.ini“-Datei des neuen Betriebssystems übernommen. Diese findet sich unter „D:\Windows“.

Das Programm ist nun funktionsfähig und lässt sich über die Verknüpfung zur KSW.exe auf dem Desktop starten.

Bei ordnungsgemäßigem Betrieb liefert die Kraftstoffwaage einen Massenstrom des Kraftstoffs mit einer Messgenauigkeit von 0,12%.

Bedienung der Software

Die Hautoberfläche des Programms bietet drei Buttons (RS232, Ausstieg, OK).

Durch Klicken auf den RS232-Button lassen sich Einstellungen zum COM-Port des Computers vornehmen. Hier wird der COM-Port ausgewählt, die Baudrate eingestellt und das Timeout für das Echo-Signal. Der Ausstieg-Button beendet das Programm. Durch Klick auf den OK-Button, wird versucht, mittels eines Echo-Signals die Kraftstoffwaage anzusprechen. Antwortet diese nicht innerhalb des eingestellten Timeout, erscheint eine Hinweismeldung. Wird die Kraftstoffwaage erkannt, gelangt man zur Lademeldung mit voreingestellten Parametern zur Messanzahl, der Messzeit und dem Messgewicht.



Abbildung 6.12: Lade-Meldung

Die Start-Parameter lassen sich in der Konfigurationsdatei „KSW.ini“, die sich im selben Verzeichnis wie die KSW.exe befindet, unter [Dynamic Fuel Meter] verändern.

Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen

Mit Klick, auf den „OK“-Button gelangt man zum Hauptfenster des Programms das die Kraftstoffverbrauchsanzeige in Kilogramm pro Stunde darstellt. Es zeigt zudem den momentanen Füllstand in g/kg an.

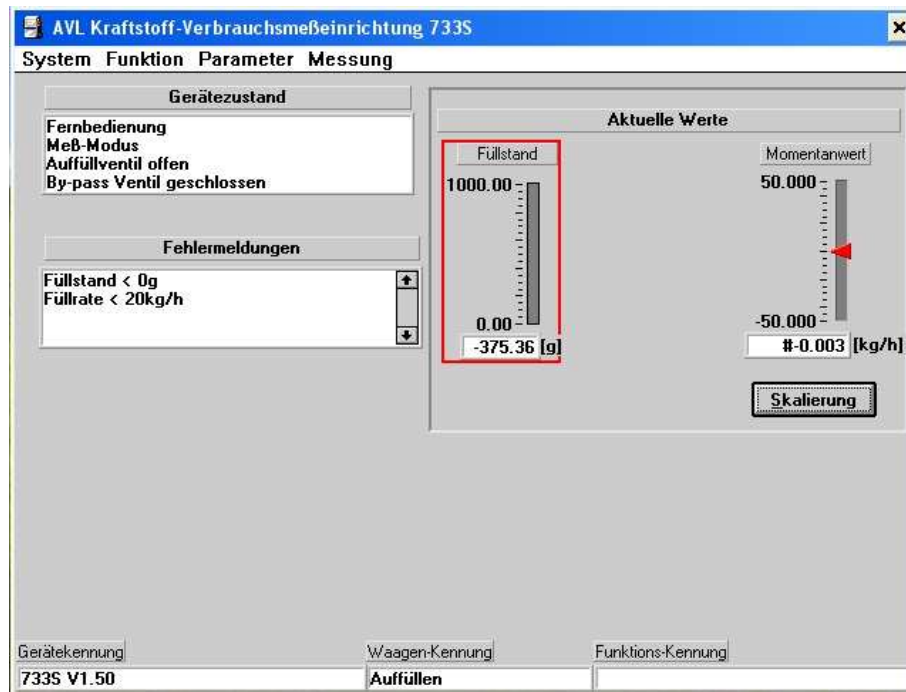


Abbildung 6.13: Hauptfenster AVL 733S

Das Programm benötigt für viele Optionen ein Passwort. So beispielsweise für das Kalibrieren der Messeinrichtung. Es sollte bei Bedarf bei den zuständigen Mitarbeitern der Hochschule für angewandte Wissenschaften erfragt werden. Die Funktionen des Programms sind im Folgenden kurz beschrieben.

Unter dem Reiter „System“, finden sich Einstellungen für die RS232- Schnittstelle und das Ändern des Passwortes.

Der Reiter „Funktion“ bietet Einstellungen hinsichtlich der Bedienung, wie „Fernbedienung“ oder „manuell“. Des Weiteren kann man hier zwischen Meß-Modus und Stand-by-Modus auswählen sowie ein Gerätereset durchführen.

Unter „Parameter“ lassen sich Messparameter, Kalibrierparameter, Hauptparameter, Systemparameter, DAC-Skalierung und DAC-Test finden. DAC steht hier für „Digital to Analog Converter“.

Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen

Über den letzten Reiter „Messungen“, kann man auswählen, ob in Intervallen oder kontinuierlich gemessen werden soll.

6.2.5 Luftmassenmessung

Im Opel Ecotec Prüfstand kommt ein Luftmassenmesser zum Einsatz, der auch bei anderen Prüfständen der HAW Hamburg zum Einsatz kommt. Da die Mitarbeiter der Hochschule für angewandte Wissenschaften für die Installation verantwortlich sind, wird auf die Installation nicht näher eingegangen.

„Luftmassenmesser werden hauptsächlich eingesetzt, um den angesaugten Luftmassenstrom eines Motors bestimmen zu können. Heutzutage kommt entweder ein Saugrohr-Drucksensor (MAP = Manifold Absolute Pressure) oder ein Luftmassensensor (MAF = Mass Air Flow) zum Einsatz.

Bei Ottomotoren dient das Signal in erster Linie der Regelung der Kraftstoffmenge, als Eingangsgröße für das Zündkennfeld sowie zur Bestimmung der Abgasrückführrate. Im Zusammenspiel mit der Lambdasonde bildet der MAF beziehungsweise MAP einen geschlossenen Regelkreis.“ ([1], S.766)



Abbildung 6.14: Luftmassenmesser im Opel Ecotec Prüfstand

Messprinzip

Nahezu alle neuen Motoren verwenden heutzutage das Verfahren der Heißfilm-Anemometrie (elektrischer Widerstand des Sensorelements ist von der Temperatur abhängig).

„Ein erhitzter Körper gibt Energie an die umliegende Luft ab. Die abgegebene Wärmemenge ist vom Luftmassenstrom abhängig und kann als Messgröße verwendet werden.“ ([1], S. 766)

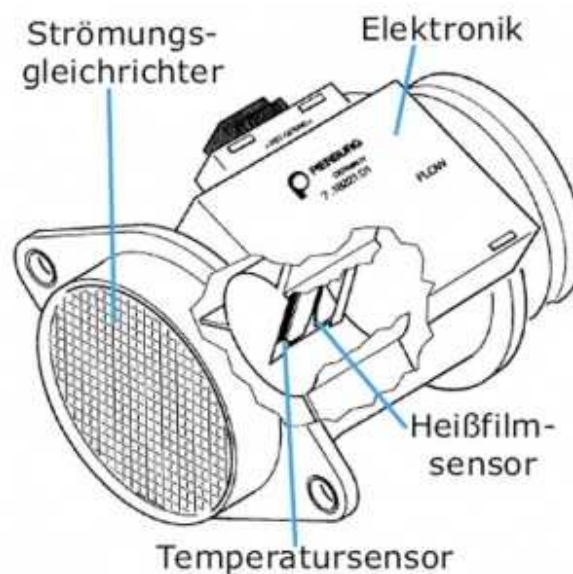


Abbildung 6.15: Messprinzip Luftmassenmesser ([15])

Luftmassenmessstelle

Der Luftmassenmesser wird direkt hinter dem Ansaugrohr des Prüfmotors angebracht. Demnach befindet sich dort auch die Messstelle.

Luftmassenmessanzeige

Zum Umfang des Luftmassenmessers gehört eine Messanzeige mit entsprechender Auswerteelektronik. Sie zeigt den Luftmassenstrom in kg/h an.

6.2.6 Lambdasonde

Die Lambdasonde ist ein Instrument zur Abgasregelung für Benzin, Diesel und Gas. Es handelt sich hierbei um einen Sauerstoffkonzentrations-Sensor, der den Restsauerstoffgehalt des Abgases misst und über diesen Wert das Kraftstoff-Zumesssystem regelt. Anhand der Lambdasondenspannung erkennt das Steuergerät die Gemischzusammensetzung (mager oder fett). Bei zu fettem Gemisch muss die Kraftstoffmenge im Mischungsverhältnis reduziert werden und bei zu magerem Gemisch die Kraftstoffmenge erhöht werden. Durch den Messwert der Lambdasonde regelt das Steuergerät die Einspritzmenge so, dass eine optimale Gemischzusammensetzung gewährleistet ist, um ideale Voraussetzungen für die Abgasbehandlung im Katalysator zu schaffen.

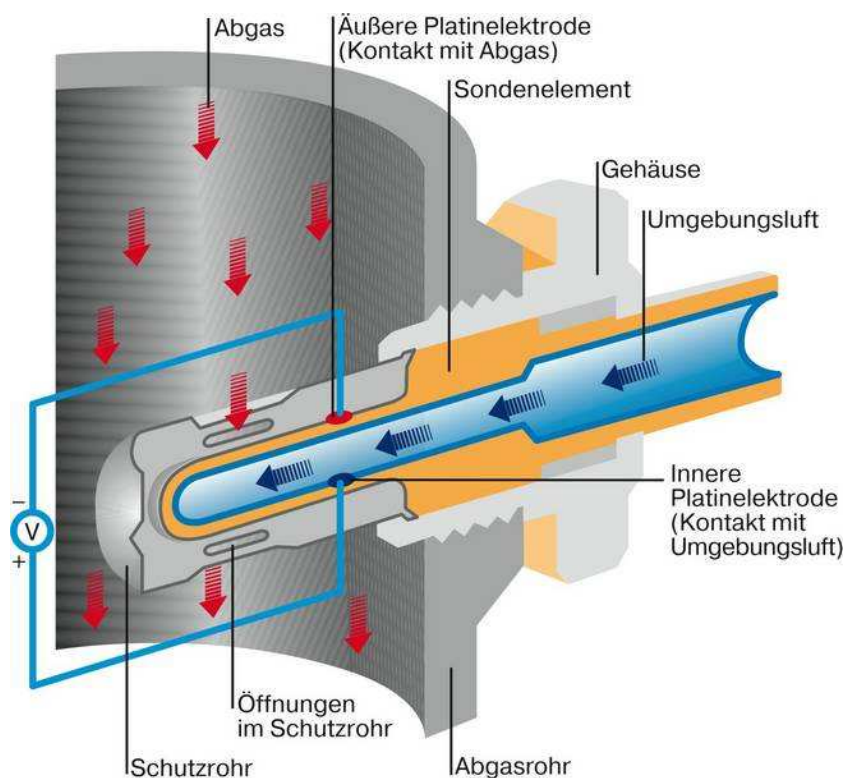


Abbildung 6.16: Messprinzip Lambdasonde ([16])

Es gibt grundsätzlich zwei verschiedene Sondenarten, die Sprung- und die Breitbandsonden. Die Sprungsonde erzeugt im betriebswarmen Zustand (ab 350 °C) eine elektrische Spannungsänderung entsprechend dem Sauerstoffgehalt im Abgas. Die Breitbandsonde misst sowohl im fetten als auch im mageren Bereich äußerst genau.

Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen

Sie hat einen größeren Messbereich und ist auch geeignet für den Einsatz in Diesel- und Gasmotoren. (Aus [16])

Der Opel Ecotec Prüfmotor besitzt eine Sprunglambdasonde. Für die Zukunft ist eine Breitbandsonde vorgesehen.

Messstelle

Die Lambdasonde befindet sich beim Opel Ecotec Prüfmotor vor dem Katalysator.

Messanzeige

Es steht keine Messanzeige zur Verfügung.

6.2.7 Messstellen in der Übersicht

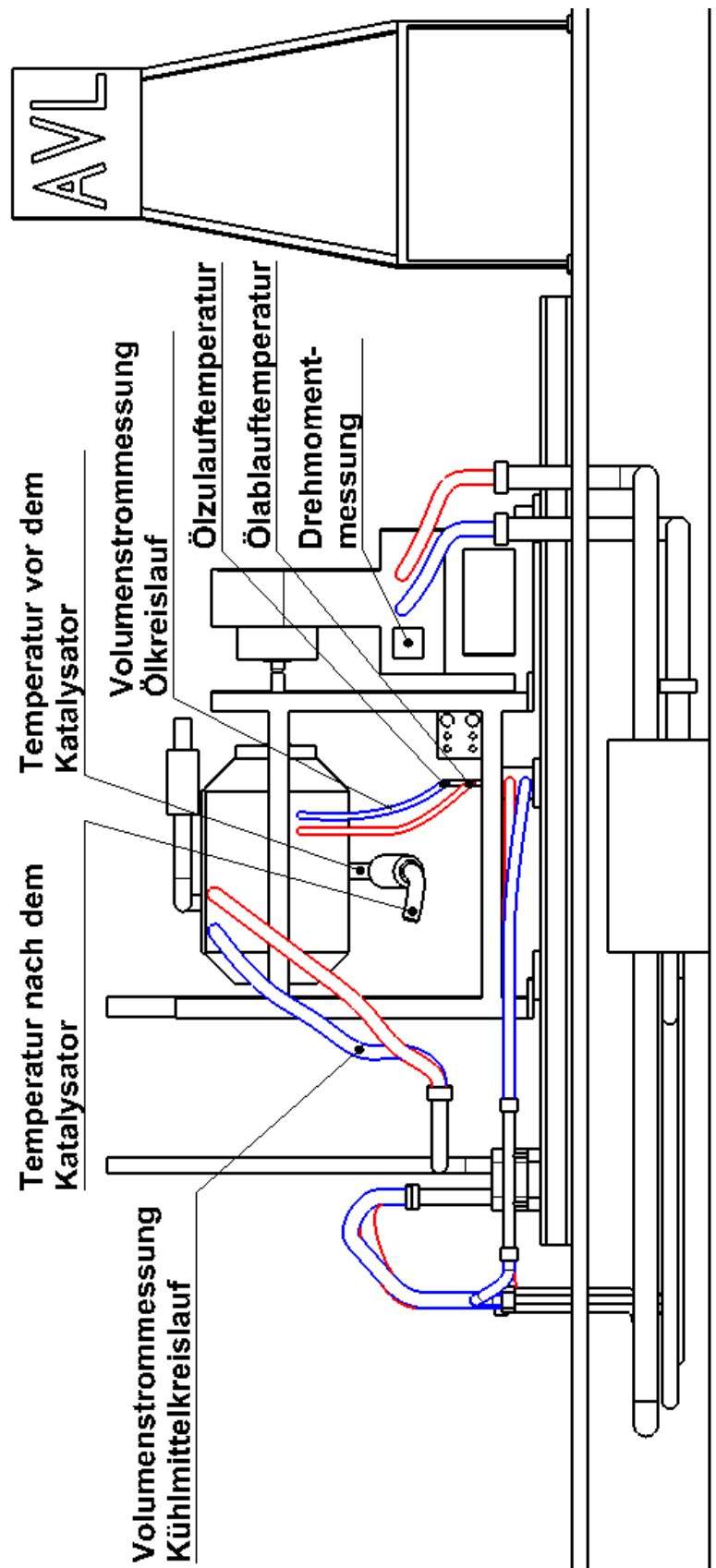


Abbildung 6.17: Messstellen in der Übersicht 1/2

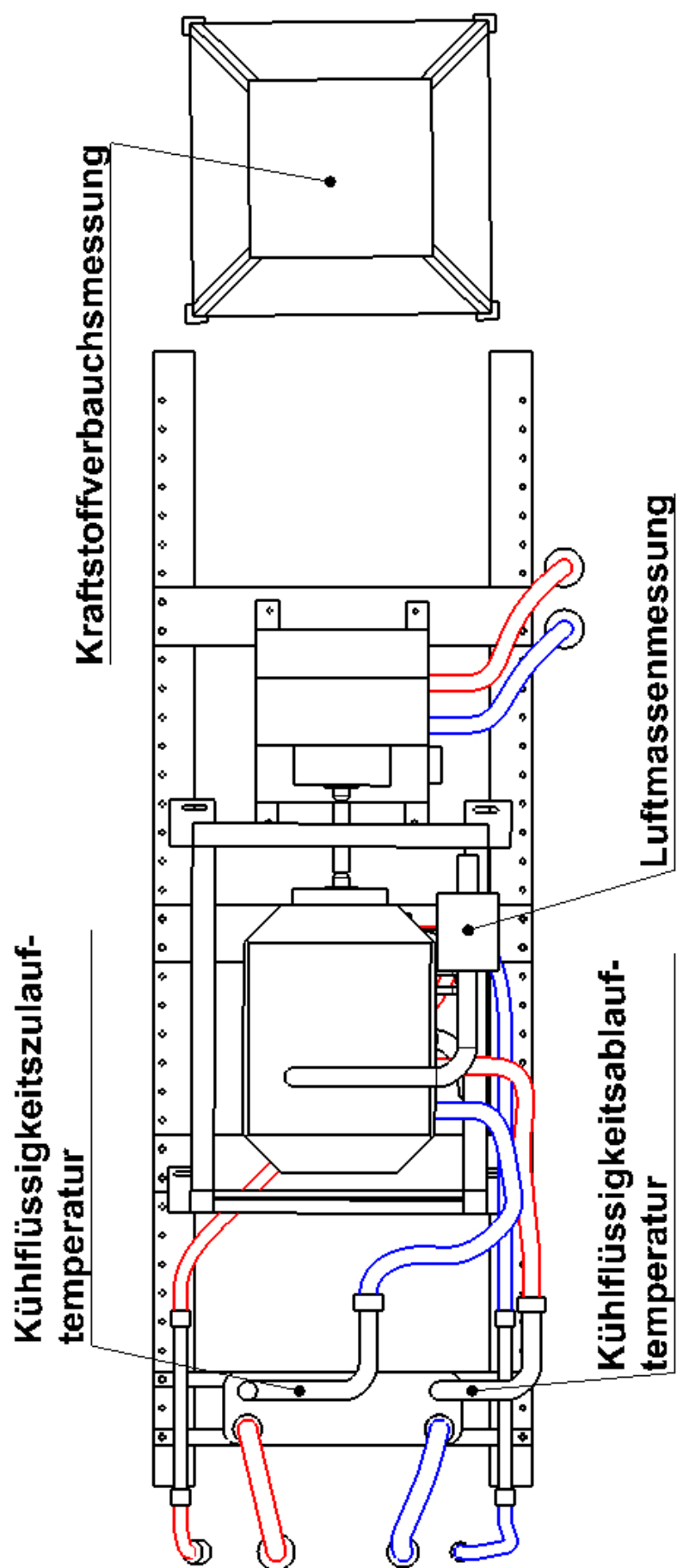


Abbildung 6.18: Messstellen in der Übersicht 2/2

6.3 Steuer- und Regeleinrichtung

Zu den im Opel Ecotec verbauten Steuer- und Regeleinrichtungen gehören motorboxseitig die Luftzufuhr, Kraftstoffzufuhr, Wasserzufuhr und die Absaugung des Abgases mittels Rauchabzugshaube. Für die Ansteuerung der Einrichtungen ist an der Kabine außen eine Vorrichtung zum Ein- und Ausschalten der Komponenten installiert. Bereits vorinstalliert sind auch zwei Hubantriebe für Hubventile der Marke Belimo.

Für die Steuerung und Regelung des Prüfstandes ist das X-Act Steuer- und Simulationssystem (X-Act Steuergerät mit Bedientafel, Fahrhebelstelleinrichtung LSR 1000 / LSR 250) von der Firma Schenk aus Darmstadt zuständig. In den folgenden Kapiteln wird auf die einzelnen Komponenten des X-Act eingegangen.

6.3.1 X-Act Steuergerät

Eine Komponente des X-Act Steuer- und Simulationssystem, ist das X-Act Steuergerät mit Bedientafel, das im Folgenden abgebildet ist.

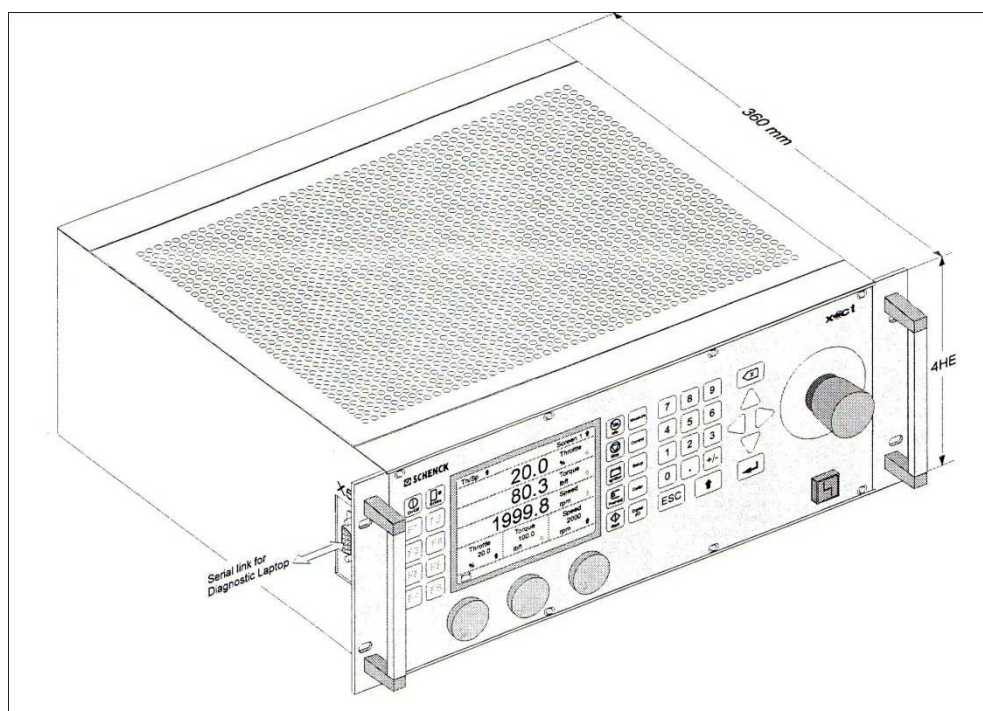


Abbildung 6.19: X-Act Steuergerät ([17])

Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen

Die Bedientafel und das Steuergerät bilden die Hauptbestandteile des X-Act.

Das Steuergerät enthält folgende Elemente:

- Stromversorgung
- Steuerkasten
- Interface-Karte (max. 2)
- Bedientafel

Bedientafel

Die Bedientafel ermöglicht das Einrichten des Systems und die Durchführung von stationären Prüfungen. Sie liefert die Datenanzeige und Meldungen bezüglich Diagnose und Überwachung. Sie kommuniziert mit dem Steuergerät. Über eine serielle RS232-Schnittstelle kann ein Computer zum Zweck der Diagnose und Wartung angeschlossen werden.

Die Bedientafel enthält:

- Monochrome Flüssigkeitsanzeige (LCD), 320*240 pixel, Aktualisierungsrate 1-2 Hz, wahlweise farbig
- Funktionstasten (F1-F8) mit austauschbaren, kundendefinierten Beschriftungen
- Schaltflächen mit Symbolen: Leerlauf, Zündung, Vorwärmen, Start, Auslauf
- Not-Aus-Drucktaster, Rückstelltaste mit roter Fehleranzeige
- Scope oder Streifenschreiber als Option (min. 5 Hz Aktualisierungsrate)
- Drehknöpfe, jeder für Sollwerte und 2 wählbare Geschwindigkeiten
- Statuszeile
- Getrennte Masken für Einrichten, Steuerungsparameter, Kalibrierung
- Leichte Handhabung (Vermeidung von Vielfunktionstasten)
- Sprache wählbar zwischen Deutsch, Englisch und Landessprache
- Einheiten wählbar zwischen metrischen und englischem System

Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen

Für die Steuerung über X-Act sind verschiedene Benutzer-IDs, mit verschiedenen Dialog-Rechten vorgesehen.

- 0** Arbeiter
- 1** Ingenieur
- 2** Service
- 3** Administrator

Beim ersten Einschalten des Geräts und drücken einer beliebigen Taste, erscheint ein Eingabefeld, dass eines der oben genannten Kennziffern benötigt.

Eine Zusammenstellung der Dialogrechte liefert die folgende Tabelle.

Tabelle 6.1: Dialogrechte [17]

1.	Messen	0 Arbeiter
2.	Regler	1 Ingenieur
	2.1 Steuerungsparameter	1 Ingenieur
	2.2 D/W-Bremsen	1 Ingenieur
	2.3 Not-Aus-Regler	1 Ingenieur
	2.4 RLS	1 Ingenieur
3.	Setup	0 Arbeiter
	3.1 Signalgenerator	0 Arbeiter
	3.2 Datenerfassung	0 Arbeiter
	3.3 Motor	1 Ingenieur
	3.3.1 Dynamische Eigenschaften	1 Ingenieur
	3.3.2 Start/Stop	1 Ingenieur
	3.3.3 Überwachung	1 Ingenieur

Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen

	3.3.3.1 Drehzahl + Drehmoment	1 Ingenieur
	3.3.3.2 Druck + Temperatur	1 Ingenieur
	3.3.4 IO	1 Ingenieur
	3.3.4.1 Drosselklappenstellung	1 Ingenieur
	3.3.4.1 X	1 Ingenieur
	3.4 Dyno	2 Service
	3.4.1 Dynamische Eigenschaften	2 Service
	3.4.2 Drehmomentfilter	2 Service
	3.4.3 Überwachung	2 Service
	3.4.4 IO	3 Administrator
	3.4.4.1 Drehzahl	3 Administrator
	3.4.4.2 Drehmoment an der Welle	3 Administrator
	3.4.4.3 Drehmoment an der Kraftmessdose	3 Administrator
	3.5 Grund-Einrichten	0 Arbeiter
	3.5.1 Kontrast	0 Arbeiter
	3.5.2 Einheiten	0 Arbeiter
	3.5.3 Sprache	0 Arbeiter
	3.5.4 Login	0 Arbeiter
	3.5.5 Passwort ändern	0 Arbeiter
4.	Kalibrierung	2 Service
	4.1 Drehmoment an der Kraftmessdose	2 Service

	4.2 Drehmoment an der Welle	2 Service
	4.3 X	2 Service
5.	E/A- Diagnose	0 Arbeiter
	5.1 Bremsenkarte	0 Arbeiter
	5.2 Motorkarte	0 Arbeiter
	5.3 CAN	0 Arbeiter

6.3.2 Fahrhebelstelleinrichtung LSR 1000/ LSR 250

Die Fahrhebelstelleinrichtung umfasst den Regel- und Leistungsteil LFE 1000, das Bedienteil LFB1000 und das Stellglied LFM 250 (Gleichstrommotor). Sie dient dem geregelten Verstellen des Fahrhebels eines Otto- oder Dieselmotors mit einer linearen Stellbewegung bei dem Typ LSR 1000, beziehungsweise zirkular bei dem Typ LSR 250.

Die Fahrhebelstelleinrichtung ist vorgesehen für einen Betrieb mit einem Schenk Pegasus Steuergerät.

Regel und Leistungsteil LFE 1000

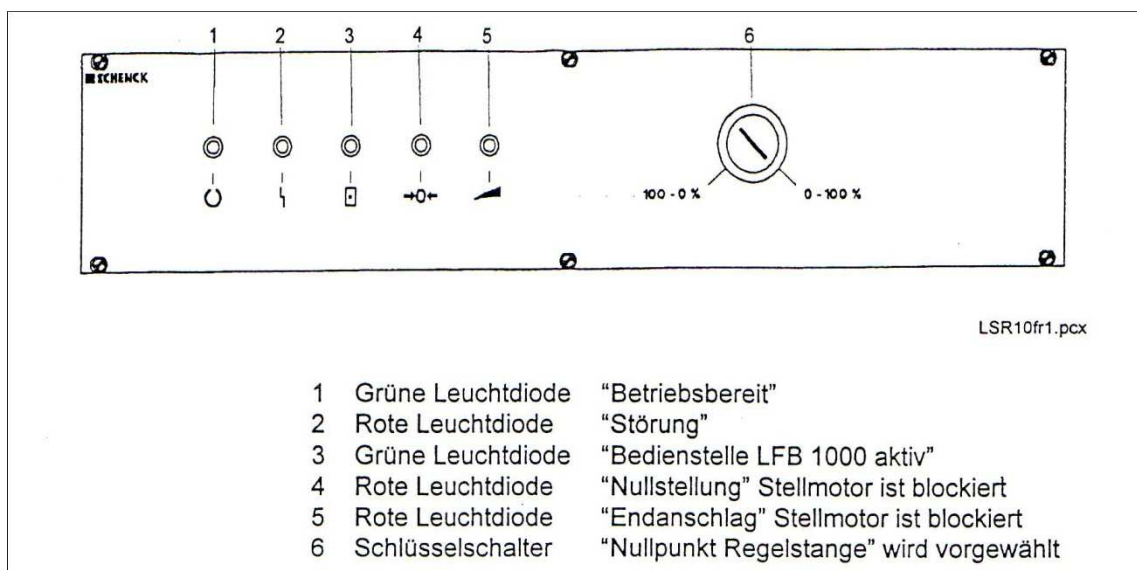


Abbildung 6.20: Leistungsteil LFE 1000 ([17])

Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen

Das Regel- und Leistungsteil LFE 1000 besitzt verschiedene Leiterplatten für die Steuerung- und Regelung. Sie erhält Ihren analogen Fahrhebelsollwert ($10\text{ V} = 100\%$) in Abhängigkeit von der Stellung des Schalters der Bedieneinheit LFB 1000 entweder von dem Steuergerät oder der Bedieneinheit LFB 1000.

Der Schlüsselschalter in der Frontplatte stellt die Vorauswahl des mechanischen Nullpunkts ein. Danach wird mit der Bedieneinheit LFB 1000 das Stellglied kalibriert.

Mehr Informationen zum Leistungsteil LFE 1000, beinhaltet die Bedienungsanleitung.

Bedienteil LFB 1000

Über das Bedienteil LFB 1000 und dem zugehörigen Regel- und Leistungsteil wird über Feinpotentiometer die Abschaltposition, Fahrhebelnullpunkt (0 %) und der Fahrhebelendwert (100 %) eingerichtet.

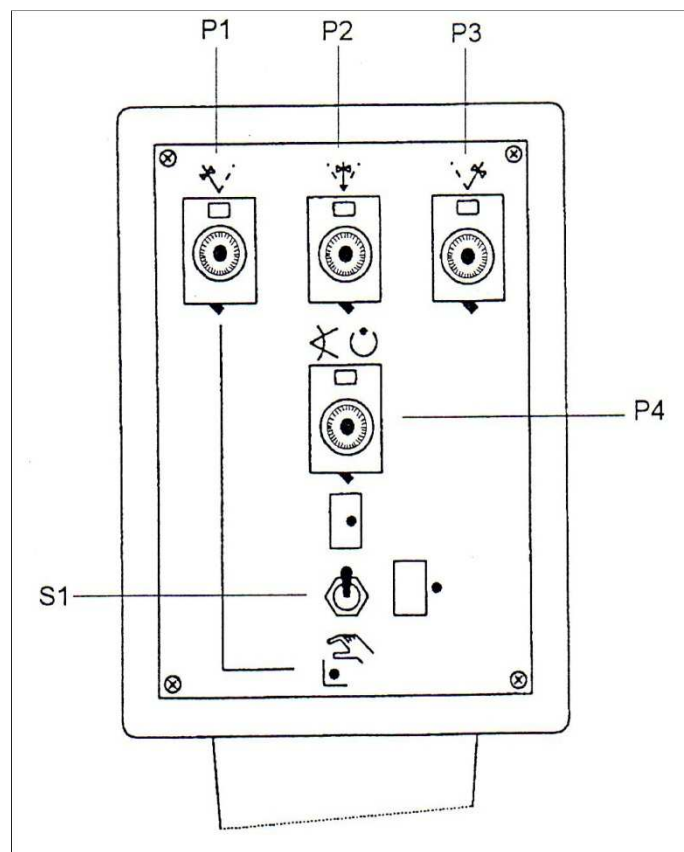


Abbildung 6.21: Bedienteil LFB 1000 ([17])

Stellglied LFM 250

Am Motorgestell ist das Stellglied LFM 250 (Gleichstrommotor) angebracht. Er gehört zum Zubehör der Wirbelstrombremse und stellt über einen sogenannten Bowdenzug die Drosselklappenstellung ein.

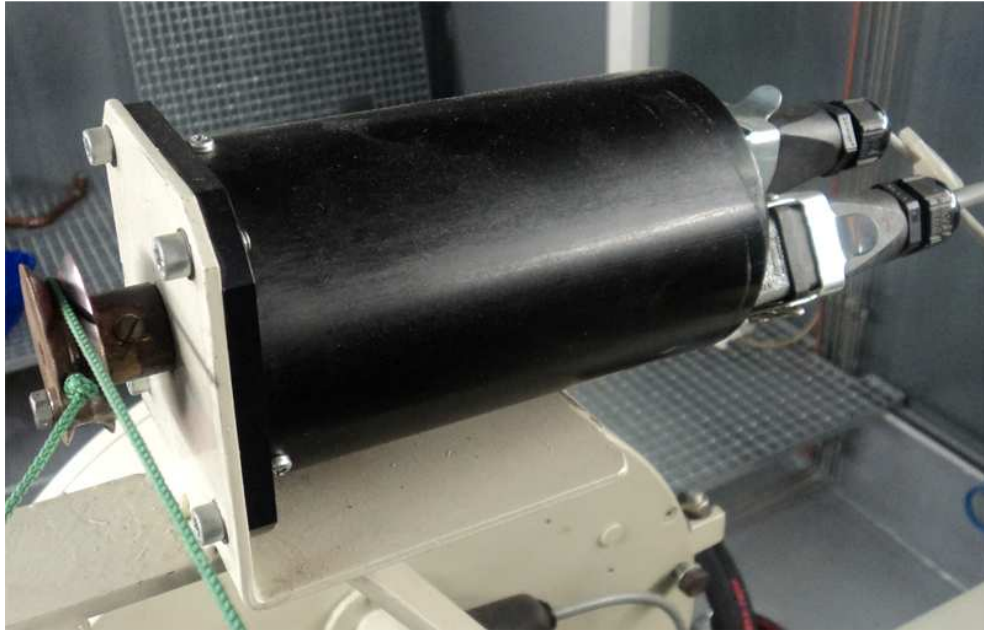


Abbildung 6.22: Stellglied LFM 250

In der digitalen Anzeige des Steuergeräts von X-Act wird die Stellung des Gleichstrommotors, bei entsprechender Kalibrierung, gleichgesetzt mit der Fahrhebelstellung in %. Eine Kalibrierung ist vorgenommen.

6.3.3 Hubantriebe für Hubventile

Die Motorbox stellt uns zwei Hubantriebe für Hubventile der Marke Belimo zur Verfügung.

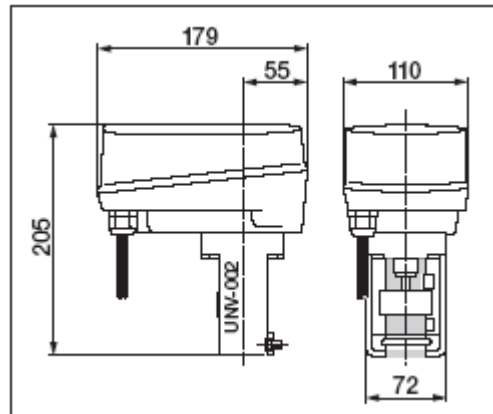


Abbildung 6.23: Belimo Hubantriebe ([18])

Die Geräte dienen der Verstellung von Hubventilen. Die Hubantriebe werden im Opel Ecotec Prüfstand eingesetzt, zum einen für die Regelung des Kühlwasserkreislaufs, des bereits vorinstallierten Plattenwärmetauschers, zum anderen für die Regelung des Kühlwasserkreislaufs des kleineren Rohrbündelwärmetauschers.

Regelung der Hubantriebe mit einem PD-Regler

Da die Volumenströme abhängig von den Ventilstellungen sind, stellen hier die Hubantriebe die Stellgröße dar. Eine Besonderheit, die die Hubantriebe bieten, ist ein Handbetrieb. Für erste Fahrversuche ist dieses unter Umständen sehr hilfreich, da so manuell ein Durchfluss eingestellt werden kann.

Für nähere Information zum Handbetrieb sei auf die Bedienungsanleitung hingewiesen.

Im Opel Ecotec Prüfstand ist, kein Regler für die Hubantriebe installiert. Die Steuer- und Stromleitungen sind jedoch verlegt, sodass eine PD-Regelung realisierbar ist.

Verkabelung der Hubantriebe

Im Datenblatt der NVY24-MFT Hubantriebe für Hubventile ist folgendes Anschlussschema angegeben:

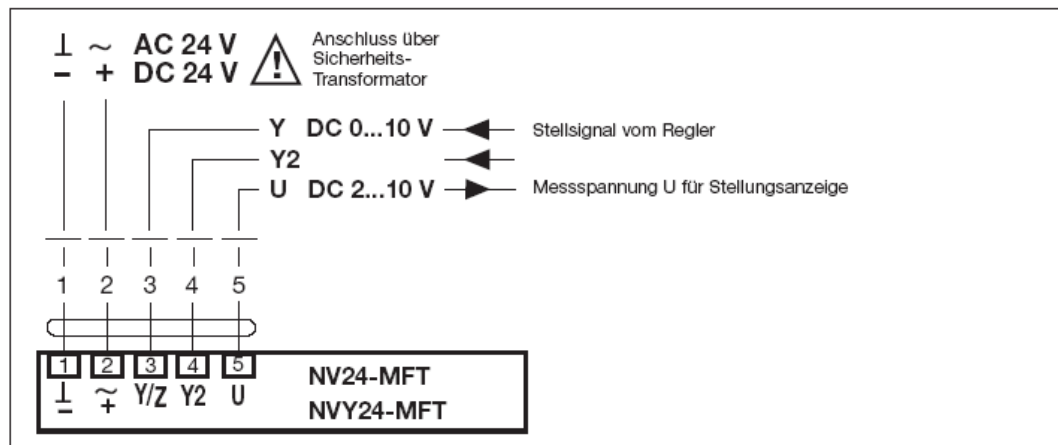


Abbildung 6.24: Anschlussschema Belimo Hubantriebe ([18])

Aus dem Anschlussschema wird ersichtlich, dass die Hubantriebe jeweils zwei Leitungen für die Versorgungsspannung (Belegungsposition 1 und 2) und zwei Leitungen für die Steuerung (Belegungsposition 3 und 5) benötigen. Die Belegungsposition 1 ist gleichzeitig die Erdungsleitung.

Für die Verlegung der Versorgungsleitungen sowie der Steuerleitungen ist ein eigener Verteilerkasten an das Gitter der Motorbox montiert.



Abbildung 6.25: Verteilerkasten Belimo Hubantriebe

Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen

Ausgeführte Arbeiten:

- Anbringen eines Verteilerkastens an das Motorboxgitter
- Verlegen der Steuerleitungen vom Regler bzw. Schaltschrank zum Verteilerkasten
- Legen der 24 V Gleichstromleitung vom internen Schaltkasten zum Verteiler
- Zusammenschalten der Versorgungsleitungen für die BELIMO Hubantriebe
- Anschließen der Steuerungsleitungen nach Anschlussschema

6.4 Schaltschrank

Der Schaltschrank fasst nahezu alle Geräte, die zum Messen, Steuern und Regeln des Prüfstandes benötigt werden, zusammen. So sind darin alle Anzeigen für die Temperaturen, Volumenströme und das X-Act Steuerungs- und Simulationssystem verbaut.

Hier sei erwähnt das der Schaltschrank im laufenden Betrieb, aufgrund der verbauten Geräte, Wärme entwickelt. Um eine Überhitzung der Geräte zu vermeiden, muss diese Wärme abgeführt werden.

Hierzu bietet der Schaltschrank drei verbaute Ventilatoren an der Oberseite, die der Wärmeabfuhr dienen und somit eine Überhitzung verhindern. Es sind also keine zusätzlichen Arbeiten notwendig.



Abbildung 6.26: Freimachung am Schaltschrank

Im Ausgangszustand war die Tür mit keiner Freimachung versehen. Diese ist jedoch erforderlich, um Kabelstränge hindurch zu legen. Beispielsweise der Kabelstrang für die Motorsteuerung, der Temperaturmessungen, der Wirbelstrombremse des Gleichstrommotors.

6.5 Verkabelungsplan

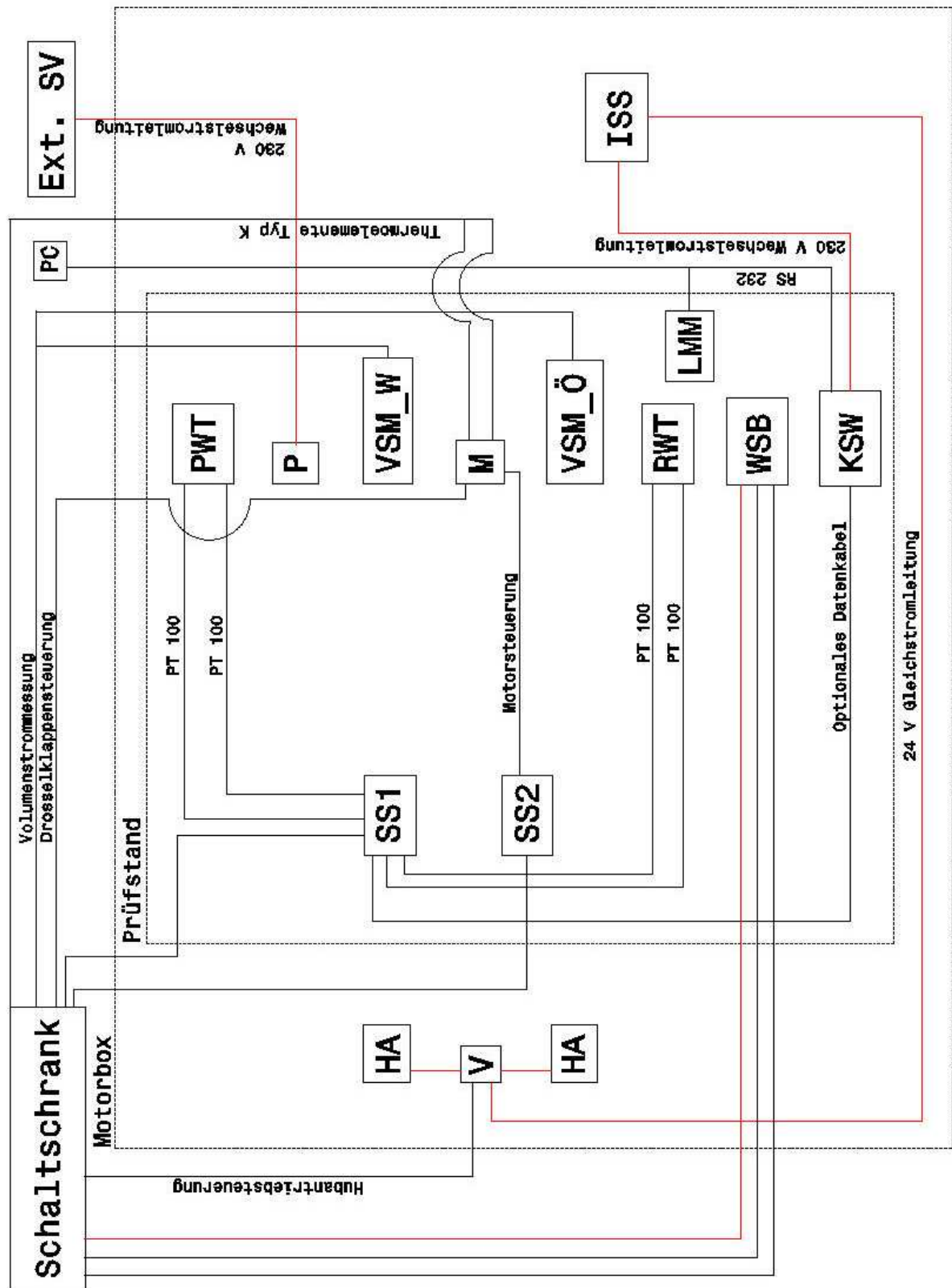


Abbildung 6.26: Verkabelungsplan

Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen

Nach dem oben dargestellten Verkabelungsplan ist der Prüfstand und seine Komponenten miteinander, sowie mit der der Motorbox, hinsichtlich aller elektrischen Leitungen, verkabelt.

Legende:

HA	-	Hubantriebe für Hubventile
V	-	Verteilerkasten für die Hubantriebe
SS1	-	Sammelstecker 1
SS2	-	Sammelstecker 2
PWT	-	Plattenwärmetauscher
P	-	Umwälzpumpe
VSM_W	-	Volumenstrommessgerät Kühlmittelkreislauf
VSM_Ö	-	Volumenstrommessgerät Ölkreislauf
M	-	Motor
RWT	-	Rohrwärmetauscher
LMM	-	Luftmassenmesser
WSB	-	Wirbelstrombremse
KSW	-	Kraftstoffwaage
ISS	-	Interner Schaltschrank
Ext. SV	-	Externe Stromversorgung
PC	-	Computer / Laptop
	-	Stromleitungen
	-	Steuerleitungen

7 Inbetriebnahme

Vor der Inbetriebnahme:

1. Laptop für die Kraftstoffverbrauchsanzeige hochfahren und KSW.exe über die Desktopverknüpfung starten.
2. Kraftstoffwaage über Netzschalter einschalten
3. Am Laptop den „OK-Button“ der Hauptoberfläche des Programms KSW.exe drücken um die Verbindung zur Kraftstoffwaage herzustellen
4. Gegebenenfalls weitere Messeinrichtungen installieren, z.B. Luftmassenmesser
5. Ölstand des Motors mithilfe eines Ölmesstabs prüfen und gegebenenfalls auffüllen
6. Kühlwasserstand im Kühlwassertank überprüfen und gegebenenfalls auffüllen
7. Öffnen des Hauptkühlwasserventils für die Versorgung der Wirbelstrombremse und der Plattenwärmetauscher mit Kühlwasser (das Ventil befindet sich unter dem Gitterrost und sollte bereits geöffnet sein. Sichtbar an der ausgefahrenen Gewindestange im roten Hohlzylinder)



8. Öffnen des Kugelhahnventils, für die Kühlwasserversorgung der Wirbelstrombremse



Inbetriebnahme

9. Hubantriebe für Hubventile mittels Handbetrieb einstellen, sofern keine elektronische Regelung installiert ist. Durch Aufstecken eines Innen-Sechskantschlüssels 5 mm und Drehen im Uhrzeigersinn fährt die Hubspindel aus dem Antriebsgehäuse heraus (stoßend). Zusammen mit dem Ventil nimmt der Wasserdurchfluss für die Wärmetauscher ab (Hinweis: Ventile sind motorboxseitig falsch verbaut). Die Hubspindel behält die Position so lange bei, bis eine Nennspannung angelegt wird (Regler hat erste Priorität)



10. Einstellen der Leistungsstufe an der Umwälzpumpe und Stromversorgung der Pumpe sicherstellen



11. Motorboxeinrichtungen (Luftzufuhr, Absauganlage, Kraftstoffzufuhr, Wasserzufuhr) mithilfe der Steuereinrichtung der Motorbox einschalten. Diese findet sich rechts außerhalb der Kabine. Die Kraftstoffzufuhr wird erst in Gang gesetzt, wenn die grüne LED leuchtet. Kraftstoffauswahl treffen (Benzin).



12. Stromversorgung am Schaltschrank sicherstellen und Hauptversorgungsschalter einschalten



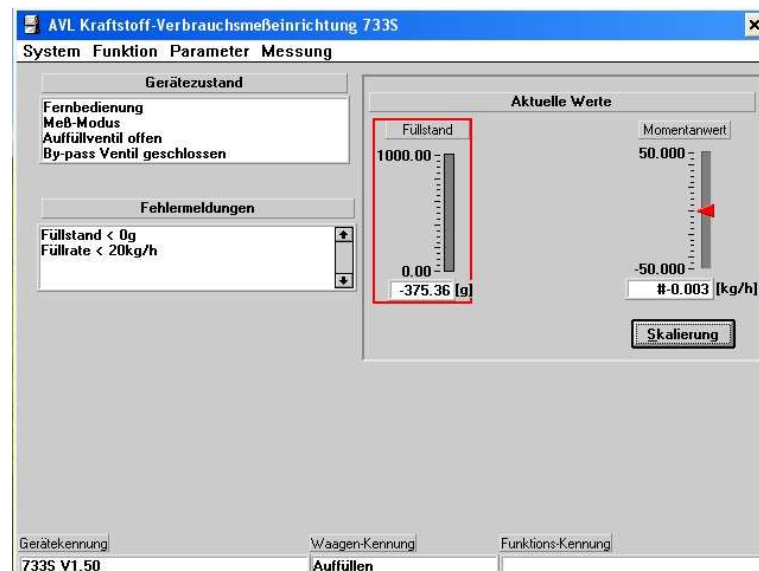
Inbetriebnahme

13. Einschalten der Volumenstrommessanzeigen



Motor Starten:

1. Bedienelement des X-Act Steuergeräts über die On/Off-Taste einschalten
2. Kennzahl für die Anmeldung eingeben (0 für Arbeiter, 1 für Ingenieur, 2 für Service, 3 für Verwalter, Verwalter stellt höchste Hierarchieebene dar) und mit der Enter- Taste bestätigen
3. Erneut On/Off-Taste betätigen, um Schalteinheit in Bereitschaft zu versetzen. Es sollte unten links nun „IDLE“ statt „Aus“ im Display erscheinen
4. Ignition-Taste betätigen, um die Zündung zu aktivieren
5. Start- Taste betätigen, um den Motor zu starten
6. Mit dem Steuergerät die Drosselklappenstellung variieren
7. Messwerte aufnehmen (Auswertung *siehe Kapitel 8*)



8 Aufnahme der Messwert und Auswertung

An dem Prüfstand sollen bei unterschiedlichen Drehzahlen folgende Werte aufgenommen werden:

- tatsächliche Luftmassenstrom „ $\dot{m}_{L,tats}$ “ in [kg/h]
- Kraftstoffverbrauch „ $\dot{m}_B$ “ in [kg/h]
- Temperatur vor dem Katalysator „ T_{VK} “ in [°C]
- Temperatur nach dem Katalysator „ T_{nK} “ in [°C]
- Temperatur am Kühlflüssigkeit-Zulauf „ T_{ZK} “ in [°C]
- Temperatur am Kühlflüssigkeit-Ablauf „ T_{AK} “ in [°C]
- Temperatur am Öl-Zulauf „ $T_{ZÖ}$ “ in [°C]
- Temperatur am Öl-Ablauf „ T_{AO} “ in [°C]
- Abgasanalyse
 - Stickstoffoxide „ NO_x “
 - Kohlenstoffmonoxid „ CO “
 - Kohlenstoffdioxid „ CO_2 “
 - Sauerstoff „ O_2 “
 - unverbrannte Kohlenwasserstoffe „ HC “

Anhand dieser Werte soll eine Kennfeldaufnahme für den Opel Ecotec Motor durchgeführt werden.

Im Folgenden wird gezielt auf die Berechnung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses eingegangen.

8.1 Bestimmung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses „ λ “

Mit dem Luft-Kraftstoff-Verhältnis oder auch Lambdawert genannt, lassen sich Rückschlüsse zu der Schadstoffentstehung, den Wirkungsgrad, den Temperaturen und dem Verbrennungsverlauf ziehen. Der Lambdawert kann durch drei Methoden ermittelt werden. Einerseits kann direkt mittels einer Breitband-Lambdasonde gemessen werden, dabei gibt die Sonde eine Spannung, die mithilfe eines Kernfeldes zum Lambdawert umgerechnet wird. Die zweite Methode ist die Lambdabestimmung über die Abgaswerte (nach Brettschneider *siehe Abbildung 8.1*) und zuletzt lässt sich der

Aufnahme der Messwert und Auswertung

Lambdawert aus der Kraftstoffmasse, der tatsächlichen Luftmasse und dem stöchiometrischen Luftbedarf berechnen. Die Bestimmung der Lambdawerte mit den drei Methoden bietet die Möglichkeit, sie untereinander zu vergleichen. Die erste und zweite Methode ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht möglich, wird aber in den nächsten Tagen eingerichtet ([1] S.24 ff).

$$\lambda = \frac{[CO_2] + \left[\frac{CO}{2}\right] + [O_2] + \left[\frac{NO}{2}\right] + \left(\left(\frac{H_{cv}}{4} \times \frac{3.5}{3.5 + \frac{[CO]}{[CO_2]}} \right) - \frac{O_{cv}}{2} \right) \times ([CO_2] + [CO])}{\left(1 + \frac{H_{cv}}{4} - \frac{O_{cv}}{2} \right) \times ([CO_2] + [CO] + (C_{factor} \times [HC]))}$$

Abbildung 8.1: Lambdawert-Berechnung mit der Brettschneiderformel

Bei einer stöchiometrischen Verbrennung findet eine vollkommene Verbrennung des Kraftstoffes ohne Luftmangel oder -überschuss statt ($\lambda = 1$). Ist $\lambda < 1$, so liegt Luftmangel vor und man spricht bei Verbrennungsmotoren von einem fetten oder reichen Gemisch. Bei $\lambda > 1$ liegt Luftüberschuss vor und man spricht von einem mageren oder armen Gemisch. Bei Verbrennungsmotoren strebt man den Wert $\lambda = 1$ an, um die Energieausbeute des Kraftstoffs optimal zu nutzen und die Emissionswerte niedrig zu halten. In der Realität wird der Lambdawert nach der Belastung des Motors variiert:

- Bei Teillast findet die Verbrennung mit Luftüberschuss statt. Das Gemisch ist mager ($\lambda > 1$) und es ist ein Kraftstoff sparender Betrieb des Motors vorhanden.
- Bei Volllast (Beschleunigung und Höchstleistung) findet die Verbrennung mit Luftmangel statt. Das Gemisch ist fett ($\lambda < 1$). Der Vorteil ist die gute Zündfähigkeit des Gemisches. Beim Kaltstart ist das Gemisch ebenfalls fett, um eine für den Kaltstart gute Zündfähigkeit zu ermöglichen.

Die Schadstoffe im Abgas werden bei einem mageren oder stöchiometrischen Gemisch stark reduziert.

8.1.1 Lambdabestimmung aus den Abgaswerten

Näherungsweise lässt sich der Lambdawert über den Sauerstoffgehalt „X_{O₂}“ oder dem Kohlendioxidgehalt „X_{CO₂}“ im Abgas berechnen. Diese Werte werden am Prüfstand gemessen.

Mit dem Sauerstoffgehalt berechnet sich das Luft-Kraftstoff-Verhältnis aus:

$$\lambda = \frac{0,21}{0,21 - X_{O_2}}$$

Die Berechnung über den Kohlenstoffdioxidgehalt im Abgas ist etwas aufwendiger und setzt sich aus dem Quotienten des maximalen Kohlenstoffdioxidgehalts „X_{CO₂max}“ zu dem tatsächlichen Kohlenstoffdioxidgehalt „X_{CO₂}“ im Abgas zusammen:

$$\lambda = \frac{X_{CO_{2max}}}{X_{CO_2}}$$

Das Aufwendige an dieser Berechnung ist die zusätzliche Berechnung des maximalen Kohlenstoffdioxidgehalts.

8.1.2 Lambdabestimmung aus $\dot{m}_{L,tats}$, $\dot{m}_B$ und L_{St}

Der Lambdawert ist das Verhältnis zwischen der tatsächlichen im Zylinder vorhandenen Luftmasse „ $\dot{m}_{L,tats}$ “ und der stöchiometrischen Luftmasse „ $\dot{m}_{L,St}$ “.

Das Produkt aus dem stöchiometrischen Luftbedarf „ L_{St} “ und der Kraftstoffmasse „ $\dot{m}_B$ “ bei stöchiometrischen Verhältnissen, ergibt die stöchiometrische Luftmasse „ $\dot{m}_{L,St}$ “.

$$\lambda = \frac{\dot{m}_{L,tats}}{m_{L,St}} = \frac{\dot{m}_{L,tats}}{L_{St} \cdot \dot{m}_B}$$

Der stöchiometrische Luftbedarf „ L_{St} “ lässt sich aus den Massenanteilen der im Kraftstoff enthaltenen chemischen Elemente ermitteln. Für die vollständige Verbrennung von einem Kilogramm Superbenzin (95 ROZ) wird 14,6 [kg] Luft benötigt.

8.1.3 Beispiel: Berechnung des Lambdawertes

Berechnung des Lambdawertes aus „ $\dot{m}_{L,tats}$ “, „ $\dot{m}_B$ “ und „ L_{St} “

An dem Verbrennungsmotorprüfstand werden die Luftmasse und die Kraftstoffmasse in Kilogramm pro Stunde im Leerlaufbetrieb gemessen. Mit diesen Werten lässt sich das Luft-Kraftstoff-Verhältnis berechnen. Die Drehzahl wird nahezu konstant auf 2500 Umdrehungen pro Minute gehalten. Für die ersten Messdaten wird eine Beispielsrechnung durchgeführt:

mit: $L_{St} = 14,6 [-]$

$$\lambda = \frac{\dot{m}_{L,tats}}{L_{St} \cdot \dot{m}_B} = \frac{16,1}{14,6 \cdot 1,182} = 0,93 [-]$$

Tabelle 8.1: Messwerte zur Lambdabestimmung

	$\dot{m}_{L,tats}$ [kg/h]	$\dot{m}_B$ [kg/h]	λ [-]
1	16,1	1,182	0,93
2	16,1	1,153	0,96
3	16,1	1,129	0,98
4	16,0	1,108	0,99
5	16,0	1,188	0,92

Aufnahme der Messwert und Auswertung

6	15,9	1,124	0,97
7	15,8	1,119	0,97
8	15,8	1,170	0,92
9	15,8	1,163	0,93
10	15,8	1,171	0,92
Mittelwert:			0,95

Der Lambdawert ist zu niedrig. Erstrebenswert ist $\lambda = 1$.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Diplomarbeit mit dem Thema „Aufbau und Inbetriebnahme eines Verbrennungsmotorprüfstandes in eine compatible Motor-Box“ dokumentiert die Vorgehensweise bei der Lösungsfindung verschiedener Problemstellungen, die sich auf den Aufbau und die Inbetriebnahme des Prüfstandes beziehen.

Zu Beginn der Arbeiten war eine Lösung für die Montage und Justierung der Prüfstands Komponenten zu finden. Dabei wurde für die Planung auf die 3-D-Modellierung zurückgegriffen. Daraus leiteten sich technische Zeichnungen für eine Unterkonstruktion ab.

Nach der Fertigung der Teile wurde die Unterkonstruktion zusammen mit den Prüfstands Komponenten in der Motor-Box montiert. Weitere Lösungen mussten nun gefunden werden, um eine Inbetriebnahme zu gewährleisten. Dazu gehörte unter anderem die Ausstattung der Komponenten mit flexiblen Leitungen. Nach dem die Kühlkreisläufe fertiggestellt wurden, konnten die Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen installiert und getestet werden.

Nach fertigstellen aller erforderlichen Einrichtungen wurden diese nochmals gründlich getestet, für in Ordnung befunden und für die Inbetriebnahme freigegeben.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Aufbau und die erste Inbetriebnahme des Opel Ecotec Prüfstandes erfolgreich durchgeführt wurde. Der Prüfstand ist somit bereit für die ersten Fahrversuche.

Ausblick auf weitere Arbeiten am Opel Ecotec Prüfstand:

- Realisierung einer Steuerung und Regelung für die Hubantriebe für Hubventile der Marke Belimo
- Aufrüsten des Prüfstandes mit einer Breitbandlambdasonde
- Installation eines neuen Abgassystems, da einige Abgaskomponenten bereits veraltet sind
- Lösungsfindung für eine optimale Verlegung des Abgassystems
- Erstellen einer ausführlichen Kennfeldaufnahme

Anhang

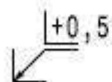
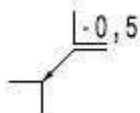
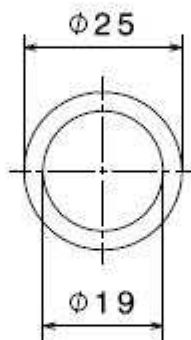
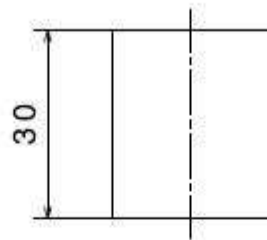
10 Anhang

Anhang 1

Kaufteile

Lfd. Nr.	Menge	Gegenstand	Firma
1	4	U-Profil nach DIN 1026-1	Wacker & Anders
2	1	Rotguß-Reduziernippel AG / AG DN 50 x 32 (2"x1 1/4")	Peter Jensen
3	1	45° Rohrbogen (Loro-X)	Peter Jensen
4	5	Kühlerschlauch DN 32 x 4 Be- triebsdruck: 4 bar, Betriebstem- peratur: -30°C bis +130°C	Goldschmidt & Harder GmbH
5	2	Kühlerschlauch DN 40 x 5 Be- triebsdruck: 4 bar, Betriebstem- peratur: -30°C bis +130°C	Goldschmidt & Harder GmbH
6	2	Kühlerschlauch DN 45 x 5 Be- triebsdruck: 4 bar, Betriebstem- peratur: -30°C bis +130°C	Goldschmidt & Harder GmbH

Anhang 2



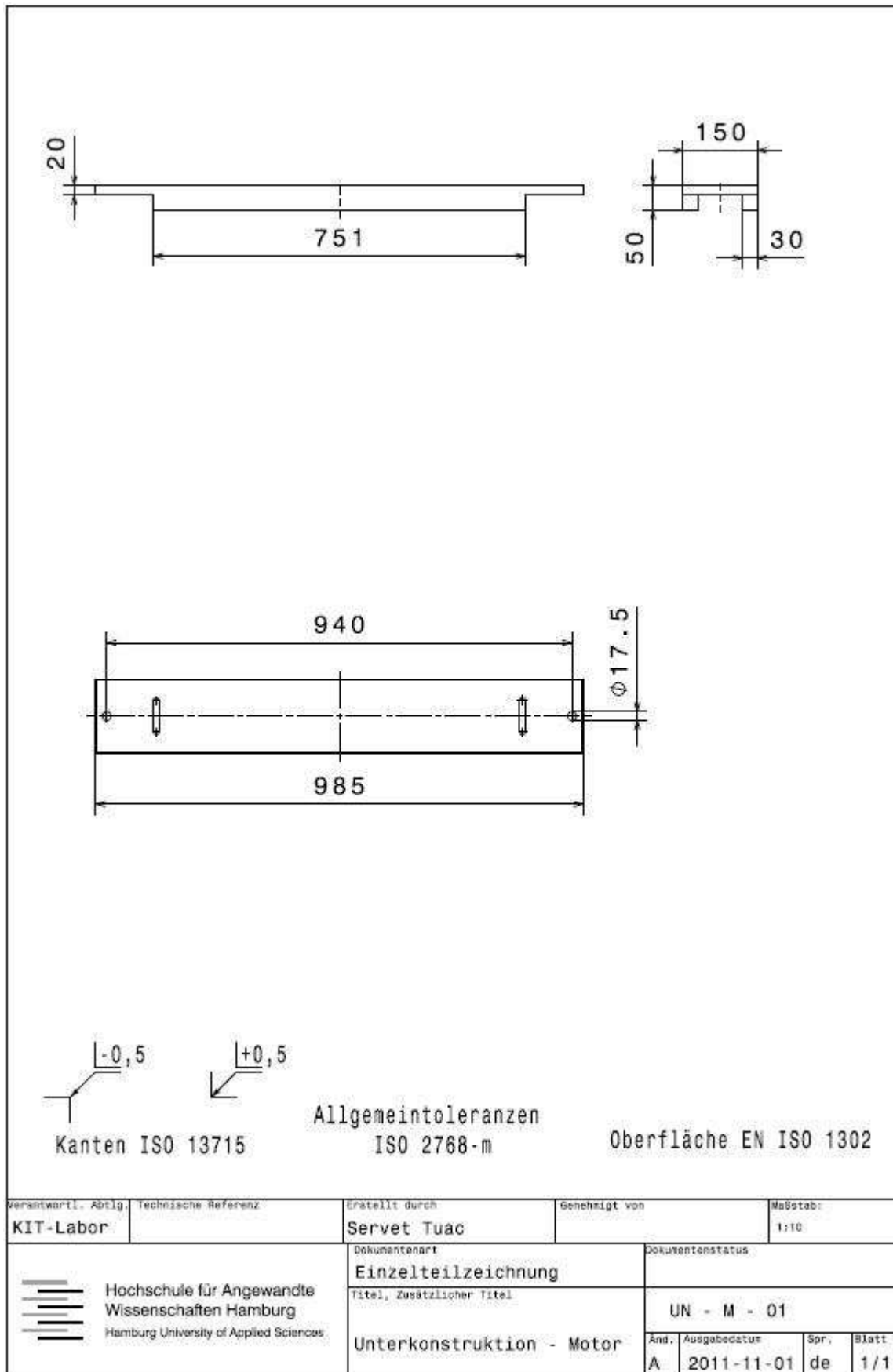
Kanten ISO 13715

Allgemeintoleranzen
ISO 2768-m

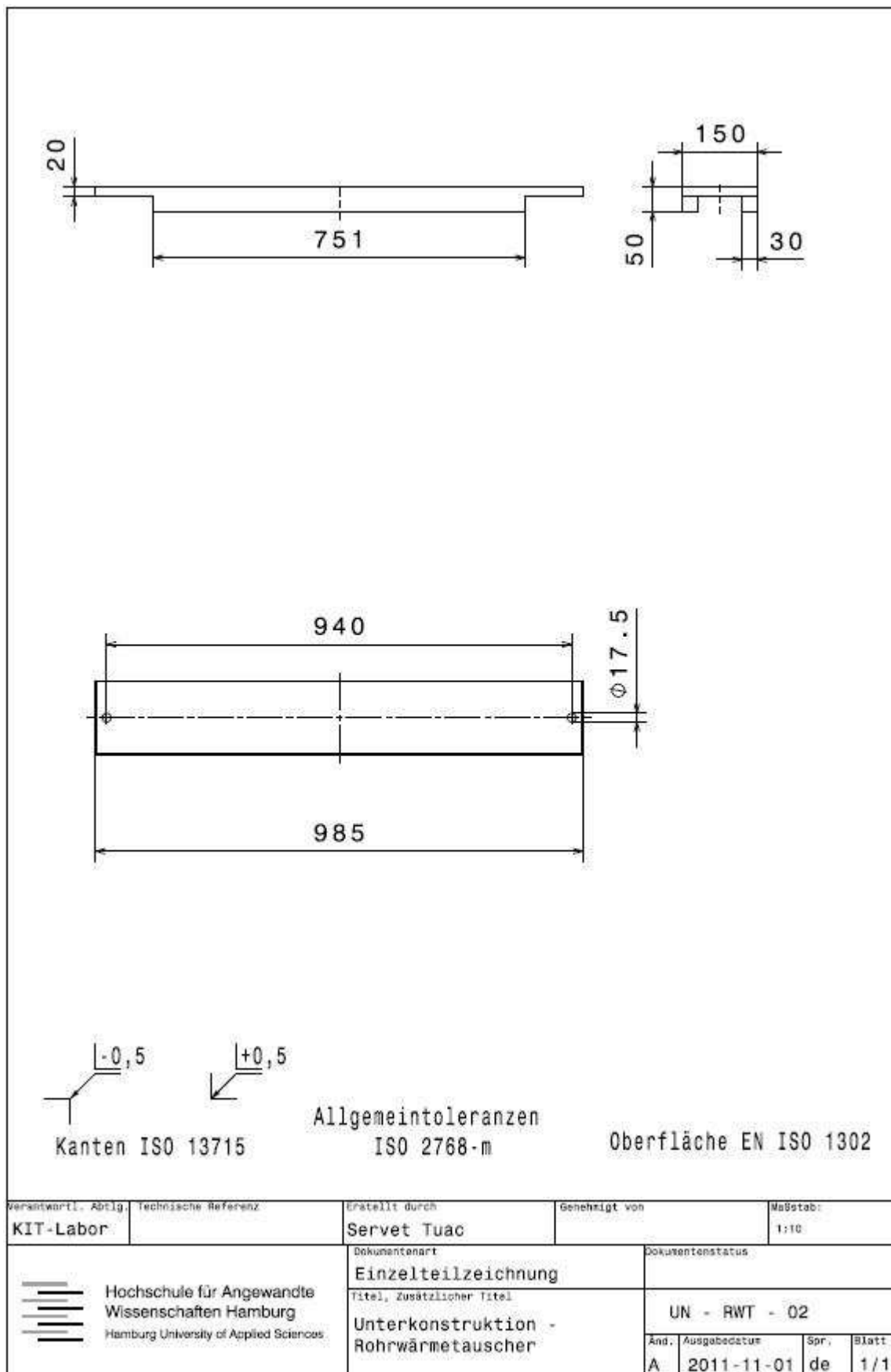
Oberfläche EN ISO 1302

Verantwortl. Abtlg. KIT-Labor	Technische Referenz	Erstellt durch Servet Tuac	Genehmigt von		Maßstab: 1:1	
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumententart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus			
		Titel, Zusätzlicher Titel Unterkonstruktion - Distanzstück	UN - D - 01			
			And.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt
		A	2011-11-01	de	1/1	

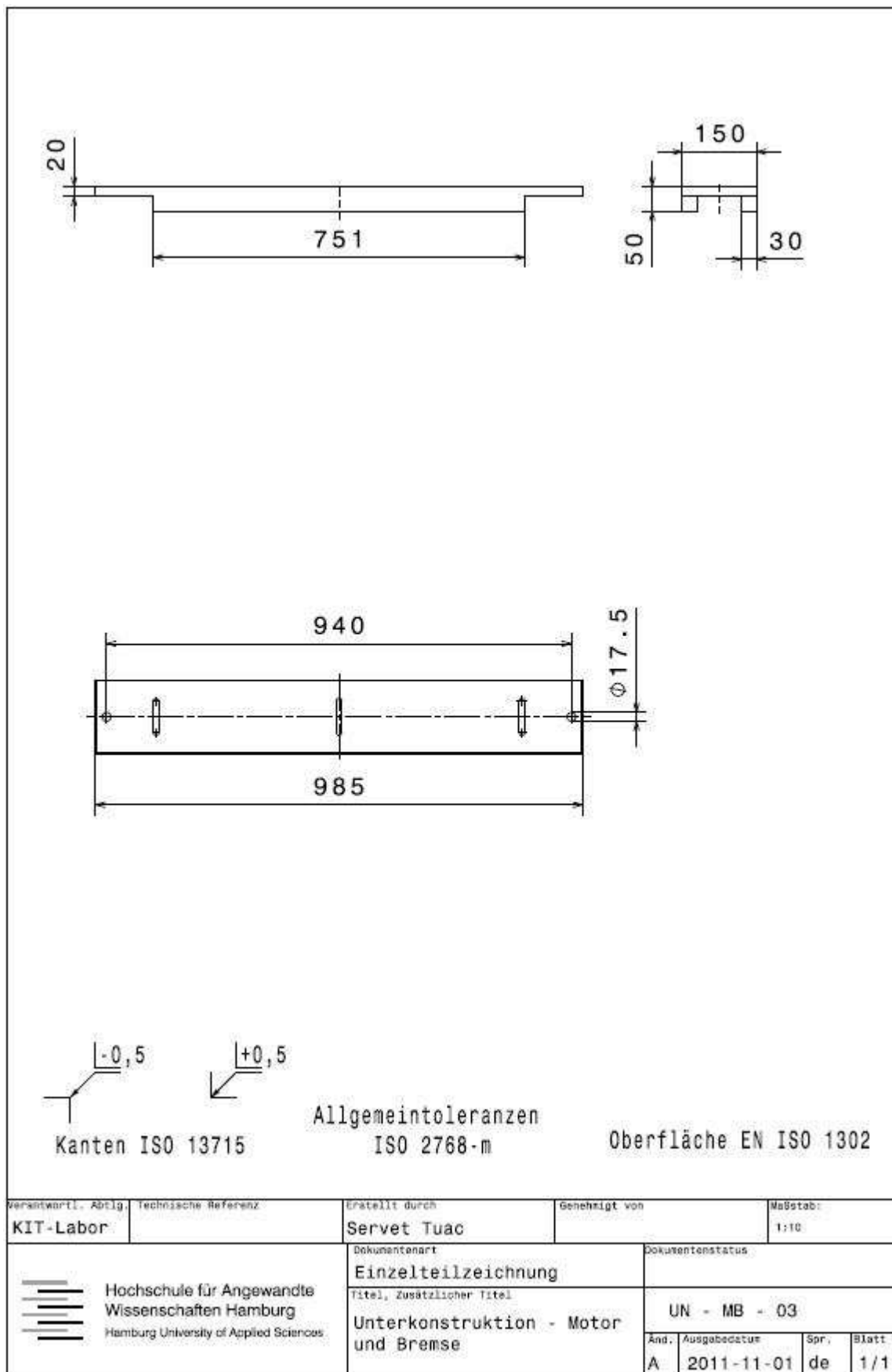
Anhang 3



Anhang 4



Anhang 5



Anhang 6

